LA NATURE

REVUE DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS



LE MASSIF DU BÉNA EN GUINÉE FRANÇAISE

Porteur Sou-Sou et peuplement d'Euphorbe du Cameroun sur les mamelons gréseux secs du Béna

(*Photo* A. S. Balachowsky).

N° 3223 – Novembre 1953 Revue mensuelle Le Numéro : 200 francs

Actualités et informations

Un nouveau semi-conducteur l'aluminium-antimoine

Des études entreprises par la « Bradley Mining Company » au centre de recherches de Battelle (U. S. A.), ont montré que l'aluminium-antimoine possède des propriétés électriques similaires de celles du germanium et du silicium. Ce nouveau semi-conducteur, dont la structure simple s'apparente à celle du diamant, peut être supérieur au germanium, et probablement au silicium, lorsqu'un fonctionnement à températures élevées est demandé ; un avantage est le bas prix de revient des deux constituants qui coûtent 700 fois moins que le germanium. Ce matériau est un de ceux qui peuvent être obtenus parmi les composés d'aluminium, de gallium et d'indium avec l'arsenic et l'antimoine.

*
* *

Les recherches entreprises à la « Building Research Station » (Grande-Bretagne) ont conduit à préconiser l'emploi de l'oxychlorure de zinc pour empêcher que la pourriture sèche se reproduise dans un bois qui a déjà été traité contre les champignons produisant cette pourriture. On a constaté que ce traitement convenait bien lorsque la cause de l'humidité ne pouvait être éliminée.

*
* *

L'exploitation des gaz naturels se développe en Italie. Une centrale a été installée à Tavazzano, à 25 km de Milan. Elle est équipée pour 125 000 kW et alimentée par les forages de Cornegliano. A leur sortie, les gaz naturels sous haute pression sont d'abord détendus dans des turbines qui fournissent de l'énergie ; ils sont ensuite brûlés dans des chaudières qui alimentent des turbo-alternateurs. On estime que les réserves de gaz sont suffisantes pour actionner la centrale pendant quinze ans au moins.

*
* *

La société hollandaise chargée de la recherche et de l'exploitation des gisements de pétrole et de gaz naturels et qui a découvert les gîtes d'hydrocarbures liquides dans la région de Schoonebeek a mis en évidence aux environs de Meppel d'importants gisements de gaz naturels, à 1 500 m de profondeur ; leur pression est de 160 kg par centimètre carré.

SOMMAIRE

Lubrifiant pour disques de phonographes

Une maison américaine a mis sur le marché une huile spéciale (« Record Spray ») pour disques de phonographes. Cette huile est utilisée sous forme d'aérosol et permet, d'après le fabricant, d'augmenter la durée de vie des disques et des aiguilles en réduisant le frottement, de réduire le bruit d'électricité statique causé par le frottement, d'aider le bouchage des imperfections dues à l'abrasion et de débarrasser les sillons des particules de poussières.

*
* *

D'après la revue L'Agriculteur, *le gouvernement canadien aurait pris la décision d'acheter 10 millions de livres (plus de 4 500 t) de poudre de lait écrémé, afin de soulager le marché de ce produit. Le prix d'achat serait de 8 ou de 11 cents la livre, selon le procédé de déshydratation appliqué. Le stock ainsi constitué serait écoulé avec le concours du Fonds international de secours à l'Enfance.*

Soudure pour aluminium et autres métaux

Le « S-X Aluma Flux », produit américain, permet de souder l'aluminium et ses alliages, excepté ceux qui contiennent un pourcentage élevé de silicium, ainsi que l'aluminium à d'autres alliages. Des essais effectués au Battelle Memorial Institute ont montré que ce fondant est également efficace pour souder l'acier inoxydable, l'acier au carbone nu et galvanisé, la fonte et autres métaux ferreux, le cuivre, le laiton et le nickel. Les joints soudés dans l'aluminium ne produisent aucune action corrosive, due au fondant résiduel, dans les vapeurs salées, l'humidité élevée, l'eau alcaline, etc. Non hygroscopique, ce produit peut être conservé indéfiniment, sous forme de poudre ou fondu, sans aucune modification de ses propriétés.

*
* *

Un important entrepôt frigorifique a été installé à Breda, en Hollande. Sa surface est de 3 250 m² et son volume utile de 14 300 m³. Il est situé au centre d'une région productrice de fruits et de légumes ; il permettra d'entreposer leurs produits et de régulariser leur vente sur les marchés intérieurs et il favorisera les exportations, notamment vers le Canada et les États-Unis.

*
* *

On vient de découvrir dans la Rhodésie du Nord un gisement d'un minerai très rare, le pyrochlore, composé pour 74 pour 100 d'une combinaison d'oxydes de tantale et de colombium : son prix avoisine 2,5 millions de francs la tonne.

*
* *

Des métaux frittés de haute densité, constitués surtout par du tungstène et dont le poids spécifique dépasse de moitié celui du plomb, s'opposent à la pénétration des émissions radio-actives et sont préconisés pour la protection contre ces radiations.

*
* *

La plus puissante drague suceuse du monde est actuellement utilisée pour le dragage du canal de Beauharnais, qui alimente la centrale de l'Hydro-Québec, au Canada. Le tube d'aspiration a 1,07 m de diamètre. La pompe principale est accouplée à un moteur de 8 000 ch.

LA NATURE

Revue mensuelle

DUNOD, Éditeur

92, rue Bonaparte,

PARIS-6e

C. C. P. Paris 75-45 — Tél. DAN. 99-15

ABONNEMENTS 1953

France et Union fse : **un an : 2000 francs six mois : 1 000 francs**

Etranger (sauf Belgique et Luxembourg) :
un an : 2 500 francs six mois : 1 250 francs

Belgique et Luxembourg :
un an : 325 f belges six mois : 163 f belges

Changement d'adresse : 30 F en timbres-poste français ou l'équivalent en monnaie étrangère

N° 3223 Novembre 1953

LA NATURE

LE MASSIF DU BÉNA
en Guinée française



Fig. 1. — *Forêt dense tropicale sur les pentes du Béna.*
Au premier plan, *Dracœna Elliottii.*



Fig. 2. — *Porteurs de l'expédition sur le plateau.*
(*Photos* A. S. Balachowsky).

Le « château fort » du Béna se dresse à 60 km au nord de Conakry, délimité par ses falaises claires, verticales, de 400 à 700 m d'à pic, servant de socle à un vaste plateau tabulaire de 30 à 40 km au relief modulé, dont l'altitude oscille de 900 à 1 250 m. On y accède avec difficulté par quelques failles où le sentier « en escalier » se perd souvent dans les éboulis en traversant des forêts denses ou une brousse secondaire impénétrable (fig. 1).

Le « Béna » fait partie des chaînes sublittorales gréseuses de ce grand « mur guinéen » qui s'étend dans l'hinterland, parallèlement à la côte, depuis le Sierra Leone britannique jusqu'en Guinée portugaise. Il est constitué par des grès primaires ordoviciens aux stratifications régulières, parmi lesquels apparaît çà et là le socle granitique précambrien; sa formation est tassilienne. L'érosion a creusé dans la roche de profonds cañons, galeries, failles, où les torrents dévalent en cascade à travers d'épaisses forêts, imprimant au paysage un caractère du plus haut pittoresque.

Le massif, isolé de tous côtés par ses murailles abruptes, est inhabité, excepté en période de transhumance, au cœur de la saison sèche par quelques fulah [1] qui viennent y chercher un peu d'herbe tendre pour leurs troupeaux. Ceux-ci envahissent alors la partie nord du plateau qui constitue la « zone des pâturages » régulièrement dévastée par les feux de brousse indispensables à la repousse du regain. Le reste du Béna garde son aspect primitif naturel; toute une faune et toute une flore s'y sont maintenues intactes, sans avoir été troublées jusqu'ici par la présence de l'homme; la partie sud, qui surplombe la magnifique forêt vierge guinéo-équatoriale de Kounounkan, sans doute la plus belle de Guinée, est pratiquement inexplorée. Avec ses troupeaux de buffles, d'antilopes, de phacochères, l'Afrique a encore conservé là son vrai visage.

Nous avons été conduits au Béna par M. Moity, planteur à Benty, qui depuis plus de vingt ans va rechercher tous les ans dans le massif, qu'il connaît dans ses moindres détails, quelques jours de fraîcheur, d'air pur et de solitude. Nous lui exprimons ici notre très vive reconnaissance. Faisaient également partie de cette expédition MM. Brun et Champion, respectivement phytopathologiste et phytogénéticien à la Station centrale des fruits et agrumes coloniaux (I.F.A.C.) de Kindia.

1. Les « fulah » ou « peulhs » sont des populations d'origine vraisemblablement éthiopienne, aux mœurs pastorales et guerrières, qui se sont établis avec leurs troupeaux dans diverses régions d'Afrique occidentale, notamment au Soudan (peulhs), en Moyenne-Guinée (foulah du Fouta-Djalon), au Cameroun (foulbès), en Nigéria, Sierra Leone, Congo belge, etc. Ils ne sont pas de souche nègre, mais les types purs sont devenus plus rares en raison du métissage, consécutif lui-même à une vie plus sédentaire imposée par la paix française.

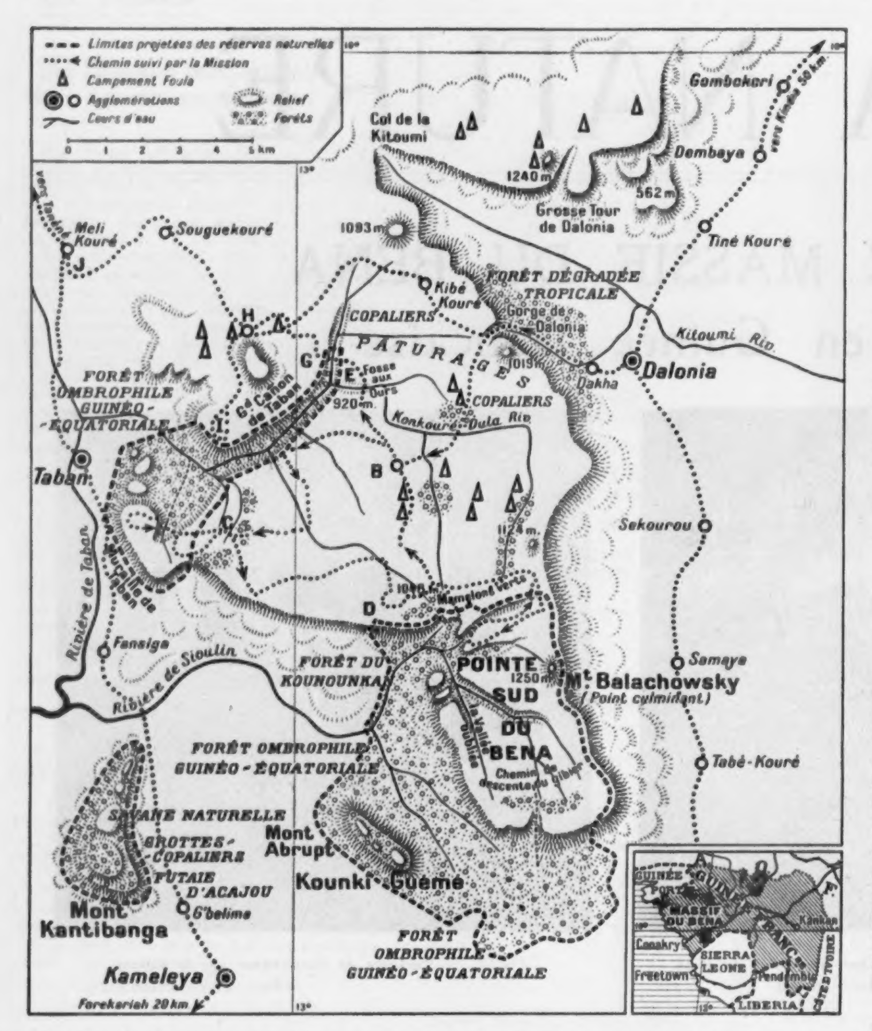


Fig. 3. — *Le massif du Béna.*

Dix heures de marche pénible permettent de franchir les 20 km qui séparent le gros village de Dalonia situé sur la « piste oubliée » (ancienne route des esclaves) Forecariah-Kindia, du campement fulah au centre de la zone nord du massif, où nous établirons notre camp de base (fig. 3).

La première partie du parcours est une ascension lente, dans un sous-bois chaud et humide, où le sentier est fréquemment taillé dans une voûte de végétation serrée, exubérante, hâtivement reconstituée après les feux de brousse successifs. La vue y est totalement bouchée et le chemin même souvent à peine tracé. Dans ce premier effort, nos porteurs « sou-sou » (les Noirs sou-sou peuplent la Basse et la Moyenne Guinée), chargés de la totalité des vivres et des bagages (fig. 2) ne laissent voir aucune trace de fatigue alors que, délestés de toute charge, nous avions grand peine à les suivre.

La faille de Dalonia est atteinte en cinq heures, sur le bord de la grande falaise; la vue se dégage brusquement sur la basse plaine guinéenne et le pays des « rivières du Sud » embrumés d'une chaleur lourde qui estompe l'horizon [1].

En avant, le plateau du Béna-nord s'ouvre devant nous et la marche va se poursuivre « à découvert » dans un paysage désolé par les feux de brousse, où émergent seulement çà et là quelques arbres tortueux, rabougris, à écorce liégeuse, épaisse, noircie, constitués par des essences dites « pyrophiles », tels que *Lophira alata*, *Syzygium guineense*, *Parinaria macrophylla*, *Gardenia erubescens*, etc. Des termitières géantes « en cathédrale » ou « en pain de sucre » de *Bellicotermes natalensis* et *Amitermes evuncifer* (fig. 4) apparaissent comme les seules traces de vie dans cette brousse calcinée. Cependant l'herbe repousse déjà par places alors que les dernières fumées ne sont pas encore tout à fait dissipées.

Dans la grande zone des pâturages, les troupeaux de bœufs fulah à la robe isabelle (fig. 5), aux cornes en lyre, petits, musclés, admirablement proportionnés, vivent en pleine liberté, résistant aux trypanosomiases transmises par les mouches tsé-tsé qui pullulent encore dans toutes les galeries forestières. Les moutons blancs à tête noire paissent tranquillement parmi eux (fig. 6), mais se laissent plus difficilement approcher. Le « regain » va permettre aux pasteurs fulah de nourrir près de 4 000 têtes de bétail jusqu'aux grandes tornades d'août et de constituer leur réserve de beurre pour l'année.

En se dirigeant vers l'est du massif, le paysage change rapidement de physionomie, les arbres deviennent plus nombreux, plus grands, plus variés, une véritable « savane arborée » se dessine progressivement; aux essences pyrophiles se substituent les espèces classiques de la savane : *Parinaria excelsa*, *Albizzia gummifera*, *Sesbania* sp., *Parkia biglobosa*, *Afzelia africana*, *Diospyros mespiliformis*, *Pavetta corymbosa*, etc. Le long des torrents où ruisselle une eau toujours limpide, une forêt-galerie se forme, d'abord clairsemée et buissonnante, puis de plus en plus serrée, pour constituer finalement une véritable barrière naturelle dans laquelle des « trouées » ont été pratiquées par le passage du gros gibier dont on aperçoit partout les empreintes toutes fraîches.

L' « harmattan », vent sec et chaud comparable au « siroco », souffle du nord pendant la saison sèche ; son influence climatique sur l'A.O.F. est considérable. Jaunies par l'harmattan, les hautes herbes retardent la marche et masquent un sol pierreux où le pied se pose souvent à porte à faux; elles servent également de refuge aux najas cracheurs (*Naja melanoleuca*) et aux vipères cornues (*Bitis gabonensis*) qui sont communes sur le plateau. Les mamelons sont pénibles à franchir en raison de la formation stratifiée du massif obligeant constamment à gravir des « murettes » de 1 à 3 m de haut séparant des « terrasses » étagées les unes au-dessus des

1. Voir : A. Balachowsky, Le pays Mandéni en Basse Guinée, *La Nature*, n° 3215, mars 1953, p. 65.



Fig. 4. — *Termitière d'Amitermes evuncifer (Béna nord).*
Les arbres sont des *Lophira alata* ayant résisté aux feux de brousse.



Fig. 5. — *Vache fulah avec son veau (Béna nord).*
(*Photos* A. S. Balachowsky).

autres (fig. 7). L'immense rideau de graminées abrite toute une faune; les antilopes sont de plus en plus nombreuses et détalent par bonds rapides alors que l'on est presque dessus; après une première surprise, elles s'arrêtent souvent pour dévisager le visiteur insolite avant de reprendre leur course, protégées par l'écran des hautes herbes (fig. 8).

Des troupes de plusieurs centaines de singes cynocéphales dévalent ces pentes en jetant leurs cris rauques, se poursuivant, se battant, réglant entre eux des comptes obscurs, sans se soucier de la présence de l'homme. Les gros mâles aux muscles hypertrophiés, impudiquement saillants, grimaçants, dégainant de leur lippe cramoisie, retroussée, des crocs blancs énormes et acérés, ferment la marche de ces colonnes hurlantes et bondissantes. Ce spectacle est profondément troublant : il imprime en moi le sentiment d'un contraste saisissant entre cette vie magnifique, animant cette nature d'une sublime beauté sous le lumineux soleil d'Afrique, et l'horrible vision que je conserve de ces mêmes singes, tristes, hébétés, recroquevillés derrière leurs barreaux exigus, dans les parcs zoologiques de nos capitales européennes. Et je fais le rêve qu'il serait possible, en cette période de progrès, de supprimer les « prisons pour animaux », puisque l'avion-comète

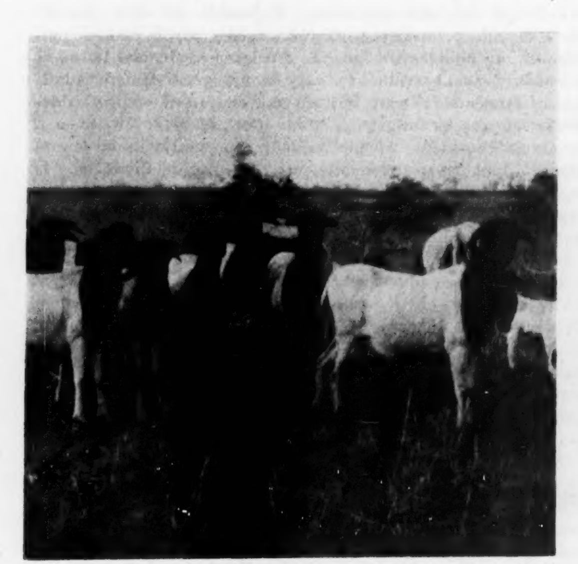


Fig. 6. — *Troupe de moutons blancs à tête noire en demi-liberté (Béna nord).*
(*Photos* A. S. Balachowsky).



Fig. 7. — *Savane clairsemée sur le Béna est.*
Structure en étages due aux stratifications des terrains ; tapis de hautes graminées ; amorce de quelques forêts-galeries.



Fig. 8. — *Antilope mina.*
(*Photos* A. S. Balachowsky).



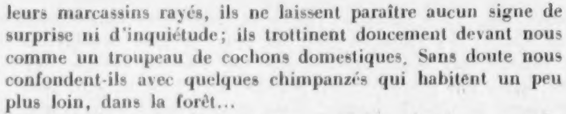
Fig. 10. — *Le grand cañon de Taban.*
Dans le fond, la forêt guinéo-équatoriale primaire.

peut transporter en quelques heures les visiteurs dans les réserves naturelles et les parcs nationaux protégés, véritables jardins zoologiques et botaniques de l'avenir? Notre jeunesse aurait là une tout autre vision de la nature et de la vie que celle que pouvait en avoir M. de Buffon...

Dans les bas-fonds, nous dérangeons en pleine sieste des familles entières de Phacochères, vautrés avec délice dans la boue des marigots; ils se lèvent en grognant et s'éloignent au petit trot, la queue dressée à la verticale, avec leur tête énorme, verruqueuse, hideuse, armée d'énormes défenses recourbées en crochets. Par groupe de quatre ou cinq, avec



Fig. 9. — *Dans les grès ordoviciens du Béna.*
Aspect typique des gorges profondes, encaissées, creusées dans les grès du massif.



leurs marcassins rayés, ils ne laissent paraître aucun signe de surprise ni d'inquiétude; ils trottinent doucement devant nous comme un troupeau de cochons domestiques. Sans doute nous confondent-ils avec quelques chimpanzés qui habitent un peu plus loin, dans la forêt...

Avant d'atteindre la montagne de Taban, bastion ouest du Béna, nous traversons encore des gorges profondes, des cañons, des torrents en cascade qui ont creusé par places, dans les énormes dalles de grès, des vasques naturelles où le bain est délicieux; le séchage au soleil sur la roche chaude et lisse est non moins agréable (fig. 9).

Je découvre là toute une faune entomologique nouvelle qui fera l'objet d'études ultérieures. Il semble en effet que les vieux massifs primaires de Guinée, taillés par l'érosion, renferment un peuplement ancien d'origine nettement « ouest africaine » ayant évolué *in situ* (il est généralement admis que la faune de l'Ouest africain est en fait d'origine éthiopienne et que sa migration s'est effectuée d'est en ouest à travers le continent, excepté pour le nord africain et le sud africain dont les peuplements ont une origine distincte ; la faune africaine des mammifères, oiseaux, reptiles, insectes, etc., s'appauvrit d'est en ouest tant en nombre d'espèces qu'en diversité).

Le sommet de nombreuses terrasses gréseuses, pauvres en humus, soumises plus directement à l'action de l'harmattan, abrite une flore nettement xérophile (c'est-à-dire aimant la sécheresse, par opposition à hygrophile, qui aime l'humidité. et ombrophile, qui aime la pluie et non l'ombre). De magnifiques euphorbes cactiformes (*Euphorbia camerunica*) y dressent leurs tiges-candélabres charnues, succulentes, gonflées de latex, atteignant parfois 8 m de hauteur (voir notre photo de la couverture).

A la descente du mamelon, nous découvrons la montagne de Taban, mais à 20 m devant nous, cornes haut dressées, mufle au vent, un cobe mâle gigantesque nous dévisage sans laisser tressaillir un muscle. Cette magnifique antilope que nous n'avons pu identifier avec certitude, doit peser près de 150 kg, et mesurer 1,40 m au garrot. Brusquement elle fait volte-face, s'élance dans un galop étourdissant, zig-zaguant, pour disparaître de notre vue en quelques secondes. Nous



Fig. 11. — *Entrée d'un terrier d'Oryctérope (massif du Béna).*
(*Photos* A. S. Balachowsky)



Fig. 13. — *Le Konkouré-Dula (massif du Béna).*
Gorge étroite creusée par un torrent rapide.

mesurons l'empreinte de ses sabots, aussi larges que ceux d'un cheval. Peut-être est-ce une des nombreuses espèces de « cobes » (*Cola*) qui en A.O.F. vivent généralement en grands troupeaux. Ces antilopes, très vulnérables et pourchassées, se sont considérablement raréfiées au cours de ces dix dernières années, tout au moins en Guinée.

Enfin nous atteignons le bastion de Taban dominant le grand ravin du même nom, où un spectacle inoubliable, féerique, nous est réservé. La falaise tombe à pic de 400 m dans un immense cañon de 2 à 3 km de large et de 20 km de long, entaille gigantesque coupant le Béna d'est en ouest. Le fond de cet abîme est entièrement recouvert d'une forêt vierge guinéo-équatoriale ombrophile, inaccessible, toujours verte, traversée sur toute sa longueur par un torrent rapide, dont le grondement lointain et sourd nous arrive à peine, rompant le grand silence de la nature (fig. 10). L'eau scintille au soleil comme un ruban d'argent serti dans l'écrin vert sombre de cette forêt qui n'a jamais été foulée par l'homme et que nous essayerons vainement d'atteindre, le lendemain, en partant de la source, à 20 km plus haut, de l'autre côté du plateau.

Vue « en plongée » la forêt offre une grande diversité d'essences si l'on en juge par toute la gamme des « verts » des frondaisons étalées, serrées les unes contre les autres, laissant à peine transparaître les fûts dressés de 50 à 60 m de haut. Abritée de toute part de l'harmattan, cette forêt apparaît identique à celle du Kounounkan qui se trouve sur l'autre versant (sud). La légende veut que ceux qui s'y aventurent ne reviennent jamais, ce qui constitue en Afrique la plus sûre des protections.



Fig. 12. — *L'Oryctérope.*
(*Cl.* Ifan, Dakar).

Le panorama grandiose m'imprime une sensation aussi forte que celle que j'ai ressentie en contemplant pour la première fois, de la terrasse de l'Hôtel Tavar, le Grand Cañon du Colorado. Les deux sites se valent par la beauté, la majesté, la luminosité de l'atmosphère.

Nous avons du mal à nous arracher à cette vue et revenons à regret le soir au campement pour aborder le lendemain le Konkouré-Dula qui conduit au grand cañon de Taban. En bas d'un mamelon nous découvrons des terriers frais d'oryctérope (*Orycteropus afer*) (fig. 11 et 12). Ce gros mammifère édenté africain, véritable kangourou souterrain aux formes raccourcies et massives, d'un poids de 50 à 70 kg, se nourrit de termites et de fourmis, d'où le nom de « ant-bear » que lui ont donné les Britanniques. Il ne sort qu'à la nuit noire et pendant quelques heures seulement, afin de « changer de domicile ». Tout le reste du temps il vit dans son profond terrier d'où ni la fumée, ni le gaz ne peuvent le déloger. Si on essaye de l'atteindre en creusant, il se met en boule, les quatre pattes en avant, armées de griffes puissantes de plus de 10 cm, dont la blessure est très redoutée des indigènes [1].

Au petit jour nous descendons avec peine dans le Konkouré-Dula pour essayer d'atteindre le cañon de Taban; dans cette gorge sombre, le soleil ne pénètre que quelques heures; la température de l'eau ne dépasse pas 11° C; aussi le bain est-il rapide (fig. 13). La forêt dense recouvre toutes les pentes, même les plus abruptes; elle paraît inhabitée, silencieuse, à midi il y fait presque sombre. Seuls les cris de quelques singes Colobes noirs à crinière blanche qui s'ébattent de branche en branche sans jamais descendre à terre, rompent le grand silence (il existe en Afrique une grande diversité de ces *Colobus*, ayant un habitat arboricole essentiellement forestier). Dans le sous-bois une multitude de fougères, de sélaginelles,

1. Sur les mœurs de l'Oryctérope, voir l'article récent de Maurice Mathis, Le Kangourou souterrain, *Le Figaro littéraire*, 24 avril 1953.



Fig. 14. — Campement fulah abandonné sur les pentes du Béna nord. (*Photo* A. S. Balachowsky).

de mousses et une végétation hygrophile spongieuse tapissent le sol. Nous atteindrons avec peine le niveau de la « grande cascade » à 3 km en aval, mais nous renonçons à descendre plus bas, et une fois encore le grand cañon du Taban restera inviolé...

Les jours suivants sont consacrés à des recherches entomologiques systématiques sur le plateau, les galeries forestières, les ravins, etc., et nous poussons également une pointe vers le Béna-sud pratiquement inexploré jusqu'ici et connu seulement de M. Moity. Après une marche de 20 km à travers des ravins, des forêts-galeries, des marécages d'où s'échappent des nuées d'oiseaux d'eaux (palmipèdes, échassiers, grues couronnées, serpentaires), nous atteignons les « mamelons verts », bastions sud du Béna, formant de véritables citadelles avancées au-dessus de l'énorme cirque-précipice occupé par la forêt de Kounounka s'étalant en amphithéâtre; elle constitue avec celle du ravin de Taban la plus belle sylve de Basse-Guinée.

Plus au sud encore s'étend la « Vallée oubliée » [1] habitée par des troupeaux de buffles sauvages dont les empreintes et les bouses fraîches nous annoncent la présence toute proche.

A la tombée de la nuit, des nuages de chauves-souris géantes abandonnent les forêts du plateau pour une migration mystérieuse; pendant près d'une heure des milliers d'individus poursuivront leur vol régulier, rapide, soutenu, orienté dans une même direction, pour disparaître brusquement de l'autre côté de la falaise, hors du massif.

Après avoir parcouru le Béna en tous sens pendant dix jours, y avoir effectué de nombreuses récoltes entomologiques, nous reprenons à regret le chemin du retour par le nord-est en traversant une dernière fois le Dalu dont nous escaladons la faille grâce à une échelle de liane improvisée; cela nous permettra de gagner cinq kilomètres et d'éviter un chemin très difficile à travers les énormes blocs de granite entassés dans le lit du torrent. Nous descendons à travers d'épaisses forêts de copaliers (*Copaifera copallifera*) encore exploitées par quelques indigènes qui récoltent également les lianes *Landolphia*, caoutchouc naturel africain, abondant dans le sous-bois.

Pendant toute une journée, la descente s'exécutera lentement par des sentiers abrupts pour atteindre la piste qui nous conduira au village de Telimélé qui sera atteint le soir. Notre « command-car », exact au rendez-vous, nous ramènera vers la civilisation.

Le plateau du Béna avec sa diversité de faune, de flore et de stations, constitue indiscutablement pour le naturaliste une des plus belles régions naturelles de l'Afrique noire française. A l'abri des hauts murs du « château fort », la nature a pu s'y conserver à peu près vierge sur de vastes espaces.

Il serait souhaitable de protéger ce massif avec ses magnifiques forêts primaires contre une destruction qui ne manquera certainement pas d'intervenir dans un avenir proche si l'on en juge d'après la marche rapide de la « civilisation » en Guinée Française. Il serait non moins souhaitable d'en protéger la faune. Cette protection impliquerait la création d'un parc national et la mise en réserve intégrale d'une partie du massif; l'abattage des bois et la chasse y seraient de ce fait rigoureusement interdites. Cela est d'autant plus réalisable actuellement que la mise au point d'un tel projet ne porte préjudice à aucune collectivité européenne ou indigène, ni même aux intérêts particuliers des spéculateurs destructeurs des forêts équatoriales.

Laissant toute la partie nord du massif à la transhumance des bestiaux fulah, la partie est, le grand cañon de Taban, la forêt du Kounounkan et le bastion sud avec la « vallée oubliée » pourraient faire l'objet d'un classement, étant totalement inhabités et même à peine « explorés »; les limites de cette « réserve », telles qu'elles ont été tracées par M. Moity, sont indiquées sur notre carte (fig. 3).

Cette mise en réserve préserverait de la destruction, non seulement le plateau du Béna, mais aussi les dernières forêts vierges guinéo-équatoriales de Basse-Guinée, avec toute les richesses floristiques et faunistiques qu'elles renferment.

A. S. Balachowsky,
Chef de service à l'Institut Pasteur.

1. La « vallée oubliée » a été visitée de nouveau par M. Moity en janvier 1953 et il a eu l'amabilité de me dédier le point culminant du Béna qui se trouve sur la crête sud de la falaise (Mont Balachowsky, 1 250 m). Une Cochenille nouvelle que nous avons découverte sur *Strychnos* dans le massif a été dédiée à M. Moity : *Benaparlatoria Moityi* Balachowsky (genus nov. sp. nov.).

La stabilisation des arcs alternatifs

Parmi les plus récentes applications des isotopes radioactifs que les piles atomiques vont pouvoir répandre sur le marché comme des produits industriels, le Commissariat à l'énergie atomique signale la stabilisation des arcs électriques en courant alternatif.

On sait, en effet, que le défaut essentiel des arcs électriques quand on veut les alimenter en courant alternatif était, du fait de l'annulation et de l'inversion du courant 100 fois par seconde, la destruction partielle de la gaine d'ions qui forme dans l'air un canal conducteur du courant. Ce rétablissement se fait alors à chaque alternance de façon différente, d'où une instabilité dans la position de cette gaine ionique entre les charbons, qui obligeait pratiquement à recourir au courant continu pour tous les arcs à grande puissance.

Or il est devenu facile de provoquer une ionisation permanente de l'air autour des charbons, par introduction au voisinage de ceux-ci, par exemple dans la substance même des électrodes, de matières radioactives artificielles dont la vie ait une longueur suffisante et dont le prix ne soit pas trop élevé, assurant ainsi la stabilité du rétablissement de l'arc à chaque alternance. C'est là une application qui paraît d'un grand avenir en raison des qualités intrinsèques de l'arc électrique comme source de lumière intensive.

A. M.

Récepteurs de lumière et de rayonnement

I. Principes de leur fonctionnement et possibilités limites

Notre œil est un système optique dont la rétine reçoit une image des scènes éclairées placées devant nous. On est évidemment incapable d'expliquer comment cette image réelle lumineuse projetée sur la rétine fait surgir dans notre conscience la perception des êtres et des objets; on sait seulement que certaines cellules de la rétine, excitées par la lumière, provoquent dans des fibres du nerf optique des séries d'impulsions qui peuvent être décelées par de minuscules sondes électriques; ces impulsions se propagent jusqu'au cerveau.

Il n'y a pas bien longtemps que nous savons réaliser des appareils physiques capables, eux aussi, de réagir par un signal électrique à l'action de la lumière. Ce sont ces appareils que nous appelons des récepteurs de lumière, ou récepteurs de rayonnement. Ils se sont développés rapidement dans ces dernières années et ils trouvent des applications de plus en plus nombreuses. Il en existe plusieurs types, ayant chacun des qualités différentes, qualités qui souvent surpassent celles de l'œil. Nous allons classer ces récepteurs, les décrire, indiquer leurs propriétés et leurs principales applications.

Rayonnements. — Avant de parler des récepteurs, il importe de bien préciser ce qu'ils doivent recevoir, c'est-à-dire quelle lumière, quels rayonnements ils doivent déceler. La lumière est un rayonnement électromagnétique, de même nature que les ondes de la radio qui transmettent, depuis la station d'émission jusqu'à l'antenne de notre poste récepteur, la parole et la musique des programmes radiophoniques ou les images de la télévision. Les ondes radio des divers émetteurs sont différenciées et peuvent être séparées, parce que chacune a une longueur différente; ces longueurs d'onde de la radiodiffusion sont de quelques mètres à quelques centaines de mètres. On les caractérise aussi par leur fréquence, qui est égale au nombre de longueurs d'onde compris dans 300 000 km. Par exemple, une station d'émission dont l'antenne produit des impulsions à la fréquence de 1 000 000 par seconde émet dans le même temps, régulièrement échelonnées, 1 000 000 d'ondes qui se propagent avec une vitesse de 300 000 km par seconde; l'intervalle qui sépare deux ondes consécutives est donc 300 m, c'est ce que l'on appelle la longueur d'onde.

Les mêmes notions de fréquence et de longueur d'onde sont également fondamentales lorsqu'il s'agit de la lumière, mais les ordres de grandeur sont très différents : les longueurs d'onde lumineuses sont un milliard de fois plus petites que des ondes radio moyennes de 400 à 700 m. Elles sont de 0,4 à 0,7 micron. Leur fréquence est donc un milliard de fois plus élevée. Si ces deux sortes de rayonnements sont bien de même nature physique et régies par les mêmes lois théoriques, il n'est pas surprenant, avec cette énorme différence de longueur d'onde, que leurs propriétés soient différentes et que les appareils capables de recevoir l'une ne conviennent plus pour l'autre.

Les rayonnements de longueur d'onde comprise entre 0,4 et 0,7 μ ne sont pas tous également lumineux. A puissance égale, leur aptitude à éclairer, pour un humain dont les yeux sont normaux et en état d'adaptation diurne, est la meilleure à 0,555 μ et diminue aux longueurs d'onde plus courtes ou plus longues comme l'indique la figure 1. De plus, à chaque longueur d'onde correspond une couleur, le violet à gauche, le rouge à droite de l'échelle des abscisses de la figure 1. Parmi les radiations émises par les sources de lumière qui nous éclairent, il s'en trouve évidemment dont la longueur d'onde est comprise entre 0,4 et 0,7 μ. Elles seules sont utiles pour voir avec nos yeux, et c'est pourquoi les progrès de l'éclairage artificiel ont consisté surtout à concentrer l'énergie de rayonnement des lampes dans ce petit intervalle.

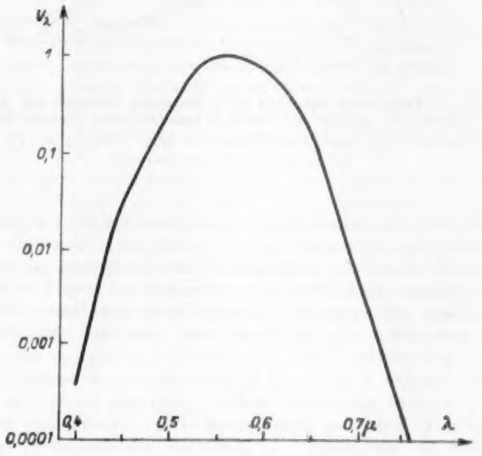


Fig. 1. — *Efficacité lumineuse V_λ des rayonnements en fonction de leur longueur d'onde λ.*
L'échelle des ordonnées (efficacité lumineuse) est logarithmique.

La moitié environ de la puissance de rayonnement que nous recevons du soleil est située dans ce domaine; non seulement elle nous éclaire, mais elle est aussi seule capable d'alimenter la photosynthèse des plantes vertes; le reste contient des radiations de longueur d'onde plus grande, invisibles, appelées infrarouges, et en plus petite quantité des radiations de longueur plus courte, appelées ultraviolettes. La plus courte longueur d'onde du rayonnement solaire est 0,288 μ, parce que l'ozone de l'atmosphère est opaque aux longueurs d'onde encore plus courtes; le soleil en émet pourtant, comme l'ont prouvé récemment des observations faites avec des spectrographes portés par des fusées à une altitude plus élevée que celle de la couche absorbante d'ozone. Sans ce filtre salutaire d'ozone, les plantes supérieures seraient toutes détruites, et notre peau serait brûlée de coups de soleil. La répartition de la puissance dans le spectre du soleil est donnée par la courbe A de la figure 2.

Sur cette même figure, la courbe B montre la répartition spectrale de la puissance rayonnée par une lampe à filament de tungstène incandescent, la source de lumière artificielle de beaucoup la plus employée actuellement. Cette deuxième courbe ressemble à la première, mais son maximum est décalé vers la droite à une longueur d'onde d'environ 1 μ; la plus grande partie de l'énergie électrique consommée par la lampe se transforme donc en rayonnement infrarouge invisible, mais que l'on peut mettre à profit pour chauffer et sécher; on vend sous le nom de lampes de séchage infrarouge des lampes qui ne diffèrent que peu des lampes d'éclairage. En revanche,

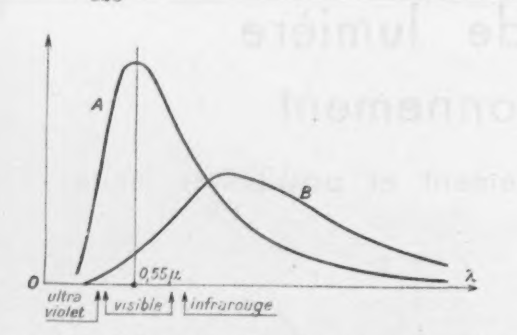


Fig. 2. — *Répartition spectrale de la puissance rayonnée par le soleil (courbe A) et par une lampe à incandescence (courbe B).*
La puissance totale, égale à l'aire comprise entre la courbe et l'axe des λ, est la même dans les deux cas.

l'ultraviolet est presque absent pour deux raisons : le filament incandescent n'en émet que très peu, et le verre de l'ampoule est opaque aux longueurs d'onde plus courtes que 0,36 μ. Ce décalage d'ensemble du rayonnement vers l'infrarouge s'explique physiquement, le filament de nos lampes étant à une température de 3 000° environ, plus basse que celle du soleil qui avoisine 6 000°.

Les courbes A et B sont la représentation de spectres continus; d'autres sources de lumière, telles que les arcs au mercure et les tubes au néon, émettent un rayonnement dont le spectre est discontinu : la puissance est concentrée sur un petit nombre de longueurs d'onde distinctes. Enfin les tubes fluorescents, qui se répandent de plus en plus pour l'éclairage, émettent le mélange d'un rayonnement à spectre discontinu, celui du mercure, et d'un rayonnement continu, ce dernier provenant de la conversion en lumière visible des radiations ultraviolettes du mercure; cette conversion s'opère dans une mince couche de produits fluorescents déposés sur la paroi intérieure du tube.

Récepteurs thermiques. — On peut répartir en deux grandes classes les récepteurs de rayonnement connus ; les récepteurs thermiques, et les récepteurs que j'appellerai quantiques.

Les récepteurs thermiques sont des thermomètres très sensibles : couples thermoélectriques, bolomètres, ou minuscules thermomètres à gaz, agencés de façon qu'ils absorbent aussi complètement que possible le rayonnement qu'ils reçoivent. L'énergie de ce rayonnement, étant absorbée, se convertit en une autre forme d'énergie, la chaleur. C'est cette chaleur qui élève la température du récepteur. Ces appareils sont parvenus à un tel degré de perfection qu'ils atteignent la limite de sensibilité prévue par la théorie des phénomènes mis en jeu. Des récepteurs commerciaux révèlent l'absorption d'une puissance de rayonnement de 10^{-9} watt, soit environ 2.10^{-10} petite calorie par seconde, de quoi élever de 0,2 millionième de degré la température d'un milligramme d'eau en une seconde. Si cette puissance de rayonnement pouvait être convertie entièrement en puissance mécanique, elle permettrait de soulever en une seconde une masse de 1 milligramme d'une hauteur de 0,1 mm.

Cette sensibilité est encore bien inférieure à celle de l'œil, plusieurs millions de fois lorsque ce dernier est dans les conditions les plus favorables. Cette disproportion a une raison simple : en convertissant en chaleur l'énergie du rayonnement, on la gaspille car la chaleur est une forme dégradée de l'énergie. On sait que le second principe de la thermodynamique limite à une valeur très faible le rendement de la conversion de cette chaleur en énergie mécanique lorsque les différences de température en jeu ne sont pas importantes. Avec des échauffements qui se chiffrent en millionièmes de degré, seule une partie infime de l'énergie calorifique se retrouve dans le mouvement mécanique de l'appareil indicateur, cadre d'un galvanomètre par exemple. C'est pourquoi les récepteurs thermiques sont abandonnés toutes les fois qu'un autre récepteur plus efficace, non thermique, peut les remplacer.

Récepteurs quantiques. — Le fonctionnement de ces récepteurs plus efficaces, que j'ai appelé quantiques, ne peut pas s'expliquer sans un appel à des théories modernes. Mais depuis 75 ans que l'on connaît bien l'électron, depuis 53 ans que Planck a introduit la quantification et depuis 48 ans qu'Einstein a donné les lois de l'effet photoélectrique, ces théories « modernes » sont devenues classiques; le lecteur a pu les connaître et il me suffira de me borner à l'essentiel, en montrant tout d'abord comment l'énergie du rayonnement est utilisée dans ces récepteurs.

Rappelons que depuis Planck (1900) on a été amené à considérer que l'énergie de la lumière et des autres rayonnements électromagnétiques est concentrée en petits grains appelés photons. Si la fréquence des ondes est ν, l'énergie de chaque photon est proportionnelle à ν et égale au produit $h\nu$, où h est la constante de Planck dont la valeur est $6{,}62.10^{-27}$ erg/seconde. La fréquence d'une lumière jaune de longueur d'onde 0,6 μ est 300 000 km/s : 0,6 μ = 5.10^{14} cycles/s. L'énergie $h\nu$ d'un de ces photons est donc $6{,}62.10^{-27} \times 5.10^{14} = 33.10^{-13}$ erg. Si un millier de tels photons arrive sur l'œil par seconde, la puissance incidente est 33.10^{-10} erg/seconde = $0{,}30.10^{-15}$ watt. Cette puissance est suffisante pour éveiller une sensation de lumière si l'œil est bein accoutumé à l'obscurité. Certains récepteurs quantiques sont capables de la détecter, mais au prix de précautions sévères que de patients astronomes sont à peu près seuls à savoir réaliser. Les récepteurs thermiques du paragraphe précédent, nous l'avons vu, ne réagissent qu'à des puissances un million de fois plus grandes.

Le plus souvent, les photons absorbés par la matière y dérangent momentanément quelques électrons, l'agitation thermique désordonnée des atomes et des molécules augmente, l'énergie des photons s'est simplement convertie en chaleur. Mais quelquefois, et c'est ce que l'on cherche à produire dans les récepteurs quantiques, un photon libère entièrement un électron qui s'échappe hors de la matière et peut contribuer à créer un courant dans un tube électronique; c'est ce qu'on appelle l'effet photoélectrique externe, utilisé dans les tubes photoélectriques; ou bien, sans sortir de la matière, cet électron passe dans un état qui permet l'établissement ou la variation d'un courant électrique par effet photoélectrique interne; les appareils correspondants sont appelés cellules photoélectriques. L'énergie des photons est alors convertie directement en énergie électrique, et le rendement devient excellent : sans avoir la valeur idéale 1, parce que tous les photons ne sont pas aussi bien utilisés, il peut atteindre plusieurs centièmes, cent mille fois mieux que ne pouvaient les récepteurs thermiques.

Mais s'il est presque toujours facile de convertir en chaleur l'énergie d'un rayonnement, quelle que soit sa fréquence, les photons ont chacun de moins en moins d'énergie lorsqu'on considère des rayonnements de fréquence de moins en moins grande. Les premiers tubes photoélectriques étaient sensibles uniquement à l'ultraviolet, où la fréquence est plus élevée que dans le visible et l'infrarouge. Puis, on a découvert le moyen de préparer des couches matérielles où les électrons étaient plus lâchement retenus; des photons moins énergiques réussissent alors à les libérer, et l'on sait faire des tubes photoélectriques sensibles dans une petite partie de l'infrarouge, celle qui est la plus proche du visible. Certaines cellules à effet photo-

électrique interne sont sensibles plus loin dans l'infrarouge, jusqu'à une longueur d'onde de 5 μ. Mais au delà, les fréquences ν deviennent trop petites, l'énergie $h\nu$ des photons n'est plus suffisante, et les récepteurs thermiques restent seuls utilisables.

Pour chacun des récepteurs quantiques il existe une fréquence limite; seules ont une action les fréquences supérieures à ce seuil, avec une efficacité variable en fonction de cette fréquence. On caractérise la sensibilité spectrale d'un récepteur par une courbe ayant en abscisses la fréquence ou, ce qui est équivalent et plus habituel, la longueur d'onde du rayonnement qui éclaire la cellule, et en ordonnées la grandeur électrique mesurée à la sortie du récepteur, pour un éclairement de puissance constante.

Limite d'amplification. — Tous ces récepteurs, qu'ils soient thermiques ou quantiques, expriment par une manifestation électrique qu'ils sont éclairés par un rayonnement. Presque toujours ce signal électrique est si faible qu'il faut l'amplifier avant de pouvoir l'utiliser. La technique électronique nous offre le moyen de transformer un signal faible en un signal fort, et même aussi fort que l'on veut, la puissance électrique nécessaire étant fournie par le secteur ou toute autre source de courant. On peut dire que l'illumination plus ou moins intense du récepteur a pour effet d'ouvrir plus ou moins grand le robinet par où peuvent se déverser des torrents d'énergie.

L'amplification étant illimitée, y a-t-il une limite au flux de rayonnement que l'on puisse déceler ? Si un récepteur, avec un certain amplificateur, commence à réagir sous un certain éclairement, ne suffit-il pas d'amplifier cent fois plus, ce que l'on sait toujours possible, pour centupler la sensibilité et détecter des éclairements cent fois plus faibles ? Et pourquoi pas un million de fois, ou plus encore ? Que cet éclairement soit une pluie de photons ne change pas la question : aux éclairements extrêmement faibles, on devrait pouvoir enregistrer séparément les photons incidents et les compter; la sensibilité devrait être illimitée, comme l'est la possibilité d'amplification.

Cette façon de raisonner est fallacieuse parce qu'elle néglige deux faits fondamentaux que les électroniciens, dont le souci le plus habituel est l'amplification acoustique, désignent sous le nom global de bruit de fond, ou simplement de bruit, même lorsqu'ils amplifient des signaux lumineux. Un système récepteur construit avec une perfection idéale voit sa sensibilité irrémédiablement limitée par la nature des choses.

Une première cause de bruit est l'agitation thermique. Les molécules d'un gaz ou d'un liquide s'agitent sans ordre, avec une énergie cinétique moyenne proportionnelle à la température absolue T; cette énergie moyenne, pour chaque degré de liberté, est le produit kT, k étant la constante de Boltzmann dont la valeur est $1{,}38.10^{-16}$ erg par degré. Cette énergie est, à la température ordinaire de 300° K, 4.10^{-14} erg; elle est environ quatre fois moindre à la température de l'air liquide. Cette énergie d'agitation thermique existe toujours et pourrait servir à définir la température; elle s'égalise avec celle des particules ultramicroscopiques dont l'agitation porte le nom de mouvement brownien; avec les microrotations des cadres de galvanomètres dont la sensibilité est limitée de ce fait; avec les électrons dans les métaux conducteurs, ce qui provoque des fluctuations électriques. A la température ordinaire, le potentiel de la grille du premier tube électronique d'un amplificateur, potentiel qui commande toute la suite de l'amplification, ne peut pas être maintenu constant : par agitation thermique, il subit des fluctuations désordonnées, dont l'amplitude moyenne est par exemple 20 microvolts. Pour qu'un signal électrique soit détecté, il lui faut modifier le potentiel de grille d'au moins quatre fois l'amplitude moyenne des fluctuations, soit 80 μV dans l'exemple choisi, car les fluctuations spontanées peuvent atteindre quatre fois l'amplitude moyenne. A moins que l'on puisse prolonger l'observation, noter le potentiel moyen de la grille, puis éclairer le récepteur et attendre à nouveau pour constater si ce potentiel moyen a varié.

Autrement dit, en présence de ces fluctuations thermiques, on peut reculer le seuil de détection par deux méthodes : ou bien refroidir le récepteur, ce qui diminue leur amplitude, ou bien prolonger l'observation et prendre des moyennes; la sensibilité limite augmente avec la racine carrée du temps que l'on consent à consacrer à la mesure, un appareil neuf fois plus lent peut être trois fois plus sensible, si cette sensibilité est limitée par les fluctuations thermiques, que l'on appelle aussi effet Johnson.

Une deuxième cause de bruit est l' « effet grenaille », qui selon les cas, peut être négligeable, ou prédominant devant l'effet Johnson thermique. Lorsque des électrons circulent dans le vide d'un tube électronique, ils ne se succèdent pas régulièrement comme des soldats marchant au pas, mais comme une foule d'individus indisciplinés. Les courants électriques qui en résultent ne peuvent pas être constants, ils subissent des fluctuations autour de leur valeur moyenne i, fluctuations données par la formule de Schottky :

$$\delta i = \sqrt{\frac{ei}{2\tau}}.$$

δi est la valeur moyenne de la fluctuation, e la charge de l'électron $1{,}6.10^{-19}$ coulomb, i l'intensité moyenne en ampères, et τ la constante de temps du circuit en secondes.

Lorsqu'on cherche à atteindre la plus grande sensibilité d'un tube photoélectrique, on peut être limité par l'effet grenaille du courant d'obscurité, dont les fluctuations masquent le signal photoélectrique. Les électrons des récepteurs quantiques sont en effet lâchement liés et l'agitation thermique suffit pour en libérer quelques-uns, qui constituent un courant d'obscurité. On réduit fortement ce courant parasite en refroidissant le récepteur. Autre exemple : si l'on veut mesurer l'éclairement d'un récepteur, la précision de la mesure est limitée par les fluctuations du courant photoélectrique lui-même; la précision relative augmente avec la racine carrée de l'éclairement et la racine carrée de la durée de la mesure. Ces limitations se font sentir en photométrie.

Enfin à ces deux causes fondamentales de fluctuations s'ajoutent évidemment les effets des imperfections instrumentales, si l'on n'a pas pris la peine de les éviter ou de les corriger.

Le seuil de sensibilité des récepteurs est donc imposé par des phénomènes inévitables; aucune amplification ne peut l'améliorer, car on amplifierait le bruit autant que le signal.

(à suivre).

JEAN TERRIEN,
Sous-directeur du Bureau international
des Poids et Mesures.

Chacal rouge contre moutons

La Commission d'Enquête sur l'extermination des bêtes de proie en Afrique du Sud étudie les moyens de défense contre un redoutable ennemi des troupeaux ovins de l'Union sud-africaine, le chacal rouge. A la fin de la première guerre mondiale, il était rare en Afrique du Sud et se nourrissait de cadavres. Depuis, il a proliféré et attaque maintenant les moutons. Très rusé, il échappe souvent aux pièges qui lui sont tendus et les éleveurs sont contraints de clôturer leurs parcs à moutons.

La planète Mercure, monde singulier

En ce mois de novembre 1953, la planète Mercure tiendra la vedette au regard des astronomes. C'est qu'en effet, à la date du 14, de 15^h37^m à 18^h11^m, pour un observateur situé au centre de la Terre, cet astre passera devant le Soleil, figurant ainsi une éclipse en miniature; phénomène assez rare, puisque le dernier de ce genre a eu lieu les 11-12 novembre 1940, et que le suivant ne se reproduira qu'en novembre 1960. Du reste, le passage de 1940 était invisible dans nos régions. Celui de ce mois sera partiellement visible à Paris : le premier contact extérieur aura lieu à 15^h36^m,1 et le Soleil se couchera avant la fin du phénomène, à 16^h10^m (temps universel) (fig. 3).

* * *

Bien que classé parmi les « Grosses planètes » c'est un bien petit monde que Mercure, dix-huit fois moins volumineux que notre Terre et tout juste deux fois et demie plus gros que notre Lune. Plusieurs astres secondaires du système solaire ne lui cèdent en rien en dimensions, tels Ganymède et Callisto, satellites de Jupiter, Titan et Triton, respectivement satellites de Saturne et de Neptune. Aussi est-ce sous l'aspect d'une minuscule tache noire de moins de 10 secondes d'arc de diamètre qu'il traversera le disque éblouissant du Soleil.

En dépit de ses faibles dimensions, et malgré la distance qui nous en sépare, et qui n'est jamais inférieure à 82 millions de kilomètres, Mercure, dans de bonnes conditions de visibilité, est un astre éclatant, brillant d'une lumière orangée, qui rivalise parfois avec les plus belles étoiles, puisqu'il peut atteindre la magnitude — 1, et au delà, à l'instar de Sirius. Cet éclat, il le doit, non au pouvoir diffusif de sa surface (albedo) qui est très faible, le plus faible du système solaire, 0,06 (la Terre 0,39, Vénus 0,73), mais à la proximité du Soleil; car sa distance moyenne à celui-ci n'est que de 0,387, celle de notre Terre à l'astre central étant prise comme unité. Ceci correspond à 58 millions de kilomètres environ, au lieu de 149,5 pour la Terre et de 108 pour Vénus, la seconde planète après Mercure, dans l'ordre des distances croissantes au Soleil. De ce fait, Mercure reçoit du Soleil une quantité énorme de chaleur, le disque solaire y apparaissant près de sept fois plus étendu en surface que vu d'ici. Encore n'est-ce là qu'une valeur moyenne car, l'orbite de la planète offrant une très forte excentricité, sa distance, au périhélie, n'est plus que de 46 millions de kilomètres.

Par suite de sa position intermédiaire entre le Soleil et la Terre qui en fait, comme de Vénus, une planète dite *inférieure*, vu d'ici son mouvement de révolution qu'il effectue en 88 jours apparaît comme une série d'oscillations de part et d'autre de l'astre central et donne lieu à des *élongations*, les unes orientales, le soir, les autres occidentales, le matin. Ce sont les époques les plus propices à l'observation de la planète. Mais toutes ces élongations ne sont pas au même degré favorables; dans les meilleures conditions, aucune ne surpasse la valeur de 27°45′.

Ces circonstances, jointes à celles qui découlent d'une forte inclinaison de l'orbite sur l'écliptique, font que, sous nos latitudes, la visibilité de Mercure reste aléatoire : c'est, en effet, toujours non loin de l'horizon, au crépuscule ou à l'aube, qu'il convient de le rechercher. C'est dire que le succès de cette recherche dépend pour une très grande part de la pureté du ciel à ce moment. Cependant, toutes conditions favorables se trouvant fortuitement réunies, l'astre surgit brusquement et s'impose aux regards du spectateur le moins averti, pour s'effacer souvent avec la même promptitude.

Mercure, en tant que planète, a été connu dès la plus haute antiquité en Égypte, en Chaldée et en Grèce, grâce à la pureté du ciel en ces contrées, où, d'autre part, la hauteur de l'astre au-dessus de l'horizon atteint des valeurs bien plus grandes qu'ici.

C'est aussi à sa situation de planète inférieure que Mercure, vu au télescope, doit de présenter des phases comme notre Lune, tantôt visible sous l'aspect d'un croissant ou d'un quartier, tantôt sous une forme plus ou moins gibbeuse (fig. 1). C'est Hévélius qui, le premier, vit Mercure sous l'apparence du premier quartier de la Lune, aspect qui avait échappé à Galilée, lequel avait cependant reconnu les phases de Vénus, argument décisif en faveur du Système de Copernic.



La rotation de Mercure. — Jusque vers la fin du XIXe siècle, sur la foi des observations de Bessel, de Schrœter et de Harding, on avait enseigné que Mercure tournait sur lui-même en 24 h environ. Quelle ne fut pas la surprise du monde savant lorsque, en 1889, l'astronome italien Schiaparelli, déjà célèbre par ses découvertes sur Mars, annonça, après sept années d'observations assidues, que la durée de rotation de Mercure était égale à la durée de sa révolution, soit 88 jours ; en d'autres termes, que la planète tournait toujours

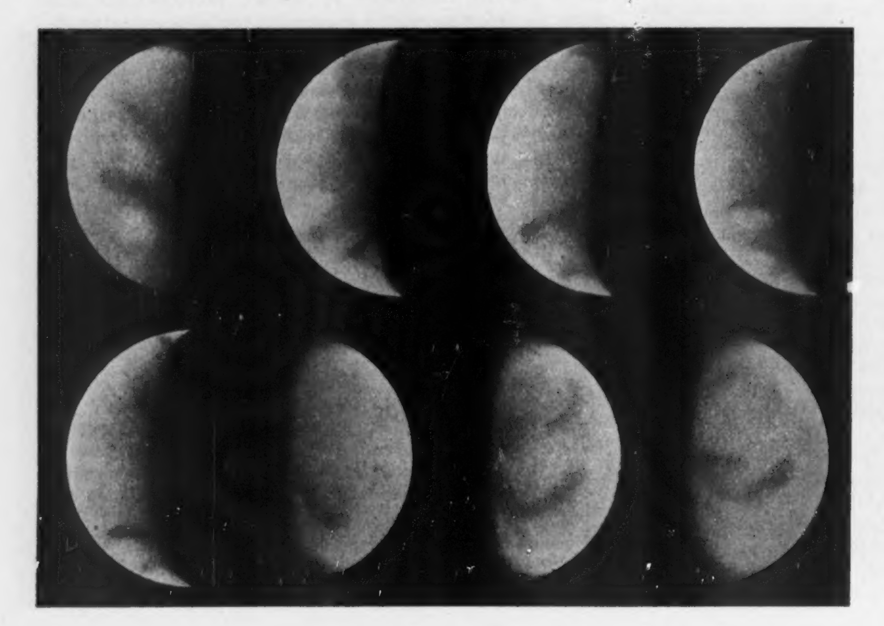


Fig. 1. — _Aspects télescopiques de Mercure._
Observations de G. Fournier ; les cinq premiers dessins se rapportent à des élongations du soir, les trois autres à des élongations du matin.

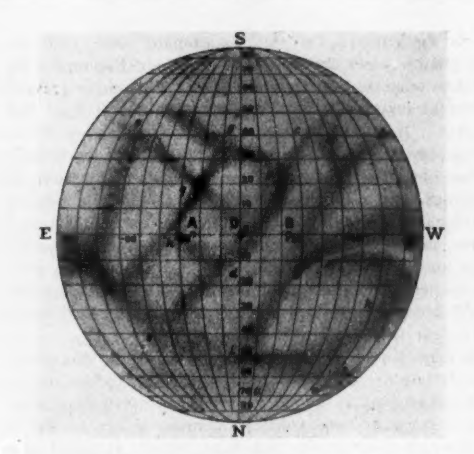


Fig. 2. — *Planisphère de Mercure.*
(D'après SCHIAPARELLI).

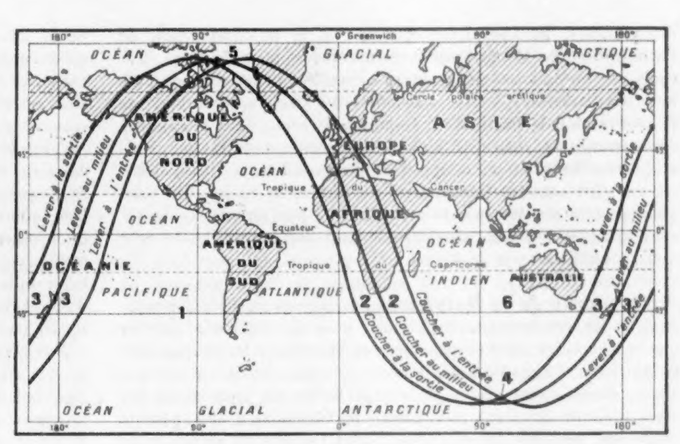


Fig. 3. — *Passage de Mercure sur le disque du Soleil le 14 novembre 1953.*
(D'après *La Connaissance des temps*).

la même face au Soleil. C'est ce qui existe par rapport à la Terre pour notre Lune, dont nous ne voyons jamais que le même hémisphère.

Pendant longtemps cette découverte demeura contestée, tant ce résultat paraissait insolite, comme contraire à tout ce que l'on connaissait alors des autres planètes, Vénus comprise, dont on admettait, avec Dominique Cassini et de Vico, qu'elle tournait en 23 h 20 mn environ. Cependant la réalité de la rotation de Mercure en 88 jours est maintenant acquise, grâce surtout aux observations persévérantes et concordantes de plusieurs astronomes français [1].

Il convient de préciser que les irrégularités de teintes présentées par la surface de l'astre, ses taches, sont d'une observation très difficile, tant à cause de la petitesse du disque que de la rareté des conditions atmosphériques favorables aux bonnes images télescopiques. Pour éviter les inconvénients dus à l'agitation de l'atmosphère à faible hauteur au-dessus de l'horizon, c'est de préférence en plein jour que se pratique l'étude de la planète, ce qui n'est pas sans introduire d'autres difficultés. Néanmoins, la carte des configurations *hermographiques* (du nom grec de Mercure) publiée par Schiaparelli a pu être confirmée et complétée; comme pour la Lune, cette carte ne représente qu'un hémisphère, ou à peine davantage, la *libration* permettant toutefois d'aller un peu au delà, et l'autre moitié de la planète demeurant constamment dans l'obscurité.

Quant à la cause de ce phénomène, elle n'est autre que celle invoquée pour expliquer la similitude des durées de rotation et de révolution de notre Satellite, c'est-à-dire l'action des marées. De même que l'attraction de la Terre a exercé au cours des temps une action freinante sur le mouvement de rotation de la Lune, jusqu'à le réduire à ce qu'il est, l'énorme masse du Soleil agit sur les planètes de son cortège. Notre Terre n'échappe pas à cette action, dont les conséquences pratiques, en ce qui la concerne, demeurent infimes et ont défié longtemps toute mesure; mais en raison de sa proximité Mercure en a subi les effets au maximum.

De telles circonstances se retrouvent fréquemment parmi les satellites. On savait, depuis Cassini, que Japet, le huitième satellite de Saturne, présente au cours de sa révolution de 79 jours des variations régulières d'éclat, dont William Herschell avait conclu qu'il tourne sur lui-même dans le même temps qu'il accomplit sa révolution autour de sa planète. Le même fait a pu être établi directement, par l'observation de leurs taches, pour les quatre gros satellites de Jupiter. On peut admettre avec une grande vraisemblance qu'il en est ainsi pour tous les autres astres secondaires du système solaire, soumis de la part de l'astre autour duquel ils gravitent à des actions beaucoup plus puissantes, comme les satellites de Saturne intérieurs à l'orbite de Japet, et les petits satellites de Mars.

On sait que, pour ce qui est de Vénus, le même Schiaparelli a avancé que la loi de sa rotation était probablement la même que celle qui régit Mercure. Plusieurs astronomes, de par leurs observations, ont cru devoir se rallier à cette hypothèse : la question demeure pendante toutefois, par suite de la difficulté extrême d'observer, sur la face éclatante de Vénus, autre chose que des aspects fugitifs dus à des nébulosités dans les couches élevées de son épaisse atmosphère.

Mercure a-t-il une atmosphère ? — Pour revenir à Mercure, on a quelque peine à imaginer quelles peuvent être les conditions météorologiques à la surface de ce monde, dont l'une des moitiés subit les rigueurs du zéro absolu de l'espace, alors que l'autre se trouve en permanence dans des conditions thermiques dont ne peuvent donner une idée les régions les plus surchauffées de notre globe : près de 350° C., d'une part, et une température certainement très inférieure à — 100° de l'autre... Mais existe-t-il une météorologie sur Mercure ? En d'autres termes, la planète possède-t-elle une atmosphère ? Question encore bien débattue...

Il est certain que sa faible masse est insuffisante pour retenir les gaz légers; par suite, si elle existe, cette atmosphère doit être extrêmement peu dense. Au cours de certains passages devant le Soleil, quelques observateurs ont cru discerner autour du petit disque obscur, un étroit anneau lumineux qui a été attribué par eux à l'effet d'une déviation des rayons solaires à travers une couche gazeuse. Il paraît plus probable qu'il s'agit là d'un phénomène de tout autre ordre, effet de contraste sans doute.

Mais l'existence certaine sur le disque de plages blanchâtres temporaires et changeantes, confirmée par de nombreux observateurs, de même que la mauvaise définition si fréquente du *terminateur*, c'est-à-dire de la ligne de séparation entre la partie éclairée et la face obscure, sont des arguments d'un autre poids en faveur d'une couche atmosphérique, si ténue soit-elle. Cependant, dans sa thèse de doctorat sur la polarisation de la lumière

1. Ce sont principalement, dans l'ordre chronologique de la publication des travaux : R. JARRY-DESLOGES, G. et V. FOURNIER (1907-1909), A. DANJON (1912-1924), G. FOURNIER (1914-1925), E. M. ANTONIADI (1927-1934).

des planètes, Bernard Lyot conclut : « Si la composition de l'atmosphère de Mercure est la même que celle de la Terre, son épaisseur ne doit pas dépasser les 21 millièmes de celle de l'atmosphère terrestre ». De son côté, A. Danjon, directeur de l'Observatoire de Paris, d'un important travail, dont il a donné connaissance en 1949 à la Société Astronomique de France, conclut formellement : « Aucune trace d'atmosphère n'est décelable sur ce petit astre ». Il devient donc oiseux de rechercher quel pourrait être sur Mercure le mécanisme d'une circulation atmosphérique, qui serait considérablement différente de ce que nous connaissons sur la Terre.

Un succès de la Relativité. — Une singularité du mouvement de révolution de Mercure, mise en évidence par les observations des anciens passages, est demeurée longtemps une énigme : il s'agit d'un déplacement de 43 secondes d'arc par siècle, dans le sens direct, de son périhélie. Ce phénomène fut tout d'abord attribué aux effets perturbants d'une planète inconnue, plus proche du Soleil : tout fut mis en œuvre pour la recherche de *Vulcain* (tel était le nom qui lui était destiné, à la vérité parfaitement approprié) mais ce fut en vain. Le Verrier, assisté par Gaillot, tenta d'en fixer la position par le calcul, ainsi qu'il avait fait avec tant de succès pour Neptune : vains efforts également ! On sait maintenant avec certitude qu'aucune planète assez grosse pour expliquer l'anomalie en cause, n'existe entre le Soleil et Mercure. La loi de la gravitation universelle semblait ainsi, et pour la première fois, être mise en échec... Il n'en était rien.

C'est le propre de la recherche scientifique que de trouver dans de tels obstacles rencontrés sur sa route, l'occasion de nouveaux progrès : La théorie géniale de la Relativité généralisée allait apporter, avec la correction nécessaire, la solution du problème, en concluant par des voies exclusivement mathématiques, à un déplacement séculaire de 42,9 secondes du périhélie de la planète. C'était un triomphe éclatant pour la théorie, d'abord difficilement admise chez les physiciens, et que d'autres succès ont à leur tour confirmée.

Ainsi, en dépit de ses dimensions minimes, de la singularité de ses manifestations, des conditions si exceptionnelles qui le régissent et qui en font un monde à part dans le système solaire, et peut-être à cause de ces conditions mêmes, Mercure a été et demeure un sujet d'études du plus haut intérêt. Il paraît probable que son actuel passage devant le Soleil, observé avec le secours des méthodes les plus modernes de l'astronomie, sera l'occasion de nouveaux progrès.

G. Fournier.

Rumford, savant original

En 1753 naissait en Amérique, près de Boston, Benjamin Thompson qui devait, sous le nom de comte Rumford, apporter à la science d'importantes contributions, peut-être un peu oubliées aujourd'hui. Issu d'une vieille souche puritaine de Nouvelle-Angleterre, étudiant à la célèbre université de Harvard, puis instituteur, il prit part à la guerre d'indépendance du côté des Anglais, et à la paix (1783) se trouva colonel en demi-solde. Alors il proposa ses services à l'Electeur de Bavière, et resta à Munich jusqu'en 1798, réformant l'armée et fondant divers établissements philanthropiques.

Dès 1778 il avait entrepris en Angleterre des expériences de balistique et mesuré la vitesse des projectiles ; c'est à ce propos qu'il eut l'idée d'une relation entre la chaleur et le travail mécanique qui se développent dans les bouches à feu. Mais c'est en Bavière que furent réalisées ses importantes expériences sur la chaleur ; il mesura la conduction calorifique de l'eau, du mercure, de l'air ; il constata que l'air humide est meilleur conducteur que l'air sec, et qu'en réduisant la pression de l'air on peut isoler thermiquement un récipient (première idée des vases à double paroi que Dewar devait réaliser bien plus tard). Il constata également qu'en gênant la circulation des fluides, on diminue le transport de chaleur (c'est ce que nous appelons maintenant convection) ; il finit même par penser que l'air et l'eau ne conduisaient pas la chaleur, sinon par leur mouvement, ce qui est évidemment erroné (sauf du point de vue de la théorie cinétique). Rumford constata aussi que les surfaces noircies rayonnaient davantage de chaleur que lorsqu'elles étaient polies ou peintes en blanc et, comme il poussait à l'extrême l'application pratique de ses idées, il se promenait en hiver avec une redingote et un chapeau blancs, afin de perdre moins de chaleur par rayonnement.

L'expérience de Rumford qui devait rester la plus célèbre fut celle de l'arsenal de Munich, où il prouva le dégagement de chaleur par frottement : deux chevaux faisaient frotter un outil à aléser à l'intérieur d'un canon, et au bout de deux heures l'eau bouillait dans le dispositif. Cela nous paraît naturel aujourd'hui, mais il faut penser qu'à l'époque l'opinion courante tenait le « calorique » pour un fluide indestructible ; il est vrai que Boyle et Hooke avaient déjà exprimé l'idée que la chaleur était une forme de mouvement, mais l'expérience de Rumford donna un support à cette hypothèse révolutionnaire, qui devait encore être combattue pendant de nombreuses années. Plus tard, Rumford construisait un appareil plus simple, où il mesurait la chaleur dégagée par le frottement de plaques métalliques l'une sur l'autre ; il en déduisit la première évaluation numérique de l'équivalent mécanique de la chaleur.

Rumford retourna en Angleterre en 1798, après avoir été nommé comte du Saint-Empire par l'Électeur de Bavière (c'est à ce moment qu'il prit comme titre Rumford, nom du village américain où il avait été instituteur dans sa jeunesse). Il s'adonna surtout à la philanthropie, sans cependant négliger la physique : en 1800 il montra la concentration du rayonnement thermique par les miroirs. Mais son caractère violent le brouilla avec certains de ses confrères et il vint s'établir à Paris en 1802. Il s'intéressa alors à l'éclairage ; déjà, pendant son séjour à Munich, il avait inventé un photomètre à ombres pour comparer la lumière de deux lampes. Il perfectionna la lampe à huile, inventée par Argand en 1782, et imagina diverses lampes portatives. Enfin il étudia le problème de la capillarité, ce qui lui valut l'inimitié de Laplace, dont le caractère était aussi intransigeant que le sien.

A Paris, Rumford avait épousé la veuve de Lavoisier, mais l'entente cordiale ne régna pas longtemps dans le ménage. Il se retira à Auteuil, solitaire, et les Parisiens pouvaient le voir en hiver, dans ses habits blancs, conduire une voiture à roues extravagantes qu'il avait dessinée lui-même. Il mourut en 1814.

Protection de l'acier par l'aluminium

Les essais de protection de l'acier par immersion dans un bain chaud d'aluminium (procédé similaire à la galvanisation) n'ont pas été poursuivis par suite du coût élevé de ce procédé.

La « General Motors » annonce la mise au point dans ses laboratoires d'un nouveau procédé de protection, dénommé « Aldip », permettant de former une couche antirouille sur les métaux ferreux, couche qui résisterait aux températures élevées après un traitement thermique approprié. Pour l'application de ce procédé de submersion, les pièces sont d'abord nettoyées à fond par divers moyens, puis plongées en vue d'un préchauffage, pendant 4 mn dans un bain de sel à 700-750° C et ensuite pendant 30 s à une minute dans un bain d'aluminium couvert d'une couche de 12 mm de sel fondu ; elles sont finalement replongées dans le bain de préchauffage.

L'examen microscopique a montré que la couche extérieure se compose de fer contenant un certain pourcentage d'aluminium, tandis que la couche suivante se joignant à l'acier est composée d'un véritable alliage fer-aluminium. Ce procédé permet de protéger intégralement des pièces de formes très compliquées et d'augmenter notablement la durée de vie des pièces en alliages spéciaux.

Un élixir de santé : le Nuoc-Mam

On dit souvent que l'Asiatique se suffit d'un bol de riz pour son repas. Mais aux féculents doivent s'ajouter des graisses, les « matières azotées », des sels, etc., pour constituer une ration équilibrée.

Le mangeur de riz ne manque pas d'agrémenter sa ration d'épices, de feuilles de verdure, de quelques morceaux de viande ou de poisson et presque toujours d'une sauce dont l'aspect et l'odeur sont peu engageants, mais qu'il considère comme aussi nécessaire à sa santé que le riz lui-même.

Le plus misérable coolie possède une petite réserve de cette précieuse saumure. Y a-t-il là un rite, une superstition ? La recette de cette préparation s'est transmise jusqu'à nos jours depuis la plus haute antiquité. N'est-ce pas un secret des Dieux qui assure aux races extrême-orientales leur étonnante vitalité ?

Les hygiénistes modernes se sont intéressés à cette sauce et ont constaté que son rôle ne consistait pas seulement à relever la fadeur du riz et à apporter le sel nécessaire, mais qu'elle fournissait sous une forme concentrée des éléments azotés de la plus haute importance pour l'économie humaine. La nature de la sauce varie d'ailleurs selon les régions; elle est le plus souvent salée, analogue à une saumure, mais parfois sucrée, toujours riche en matière azotée.

L'azote est emprunté parfois aux graines de légumineuses : le soja, pour la sauce chinoise, appelée Shoyu au Japon et Outjom en Indonésie. En Indochine et en Thailande, la saumure emprunte l'azote au poisson, c'est le *Nuoc-Mam.*

M. J. Guillerm, qui a été un des premiers chimistes à étudier le nuoc-mam, à l'Institut Pasteur de Saïgon, explique l'origine de cette sauce par un essai de conservation du poisson par le sel : « La pratique coûteuse de la stérilisation étant inconnue dans ces régions, l'indigène autochtone a, de tous temps, utilisé le sel comme agent de conservation ». Or, il s'est trouvé, par une conjoncture favorable, que le jus produit par la fermentation des poissons en vase clos, lavés par la saumure, reste inaltérable sous certaines conditions de fabrication. Dans les régions tropicales où la matière azotée s'altère avec une prodigieuse facilité, « la fabrication de ces sauces, toutes de bonne conservation, doit être considérée comme une méthode originale de se créer des réserves azotées ».

Ainsi le nuoc-mam, véritable denrée nationale, a permis le développement en Indochine d'une industrie saumurière importante localisée aux lieux de pêche principaux de la Mer de Chine, du Golfe de Siam ou des Grands Lacs Cambodgiens. Le marché intérieur absorbe totalement la production qui atteint chaque année près de 100 000 t. La consommation annuelle est de 5 l par habitant, en fait 40 g par jour et par adulte.

L'odeur du nuoc-mam est très prononcée. Le Père Legrand de la Liraye écrivait le 25 octobre 1869 : « Le nuoc-mam est pris généralement en horreur par tout Européen arrivant dans le pays. Au bout d'un certain temps, on s'aperçoit, si on n'y met pas d'entêtement, que le nuoc-mam n'a au fond contre lui que son odeur et qu'on peut se faire à cette odeur comme on se fait à celle du fromage et du dourian quand on y a pris goût. Il est facile d'apprécier que sa saveur proprement dite n'est pas désagréable, qu'elle rend certains mets excellents; on est très heureux de le trouver souvent comme excitant de l'appétit dans les dégoûts de toute nature auxquels l'anémie expose, comme digestif dans certains embarras gastriques, comme sudorique très puissant dans les coliques et refroidissements ».

Un bon nuoc-mam a une coloration franchement jaune, son odeur est le résultat de la fermentation microbienne intense qui accomplit la digestion en vase clos des poissons.

Le nuoc-mam comporte différentes qualités et différents crus. Ces variétés sont dues, en partie, à l'espèce des poissons utilisés. Ceux-ci, de petites tailles, se déplacent par bancs; la pêche a lieu généralement d'avril à novembre. Le sel utilisé pour la saumure est le sel marin, il ne doit contenir aucune matière étrangère. Le poisson est tassé dans de grandes cuves en bois, cerclées de bambou tressé, mélangé avec le sel : un tiers de sel pour deux tiers de poisson. La macération dure de un à cinq mois selon le procédé de fabrication.

Les éléments actifs de la genèse du nuoc-mam sont les diastases des organes digestifs des poissons qui procèdent à une autodigestion des autres parties du corps : peau, muscle, etc. La désintégration est complétée par un processus microbien comparable à la fermentation du fromage qui aboutit à la formation d'acides aminés. La concentration en sel empêche de dépasser ce stade; la saumure est alors stable.

Le premier jus coule par un robinet situé à la base de la cuve sous une couche de balle de paddy et de coquillage qui sert de filtre. En versant de l'eau salée dans la cuve, on obtient un deuxième jus, on épuise ainsi la cuve par des lessivages successifs. On renforce la concentration en lessivant avec des jus pauvres au lieu de solution d'eau salée. Le rendement est conditionné par la quantité de poisson mise dans la cuve.

Pour les poissons de choix, un litre de nuoc-mam contient au minimum 15 g d'azote et 250 g de chlorure. La valeur alimentaire des jus au delà du troisième lessivage va en s'amenuisant et, pour que la sauce ait une bonne conservation, il faut que sa teneur en azote dépasse 8 g par litre.

En général, le nuoc-mam est un mélange judicieux de différents jus. Il est versé dans des jarres en terre cuite vernissées, d'une capacité de trois litres; celles-ci sont scellées à la chaux, il y vieillit en se bonifiant. Le temps de conservation est ordinairement d'un an. C'est une denrée bon marché permettant de compléter quantitativement la ration d'azote (en moyenne 0,6 g par jour) pour une dépense infime. Mais c'est surtout qualitativement que cet apport d'azote est intéressant.

De récentes expériences américaines illustrent de façon remarquable les propriétés extraordinaires du produit commercialisé sous le nom de « condensed fish solubles » ou concentré de substances liquides de poissons.

Ce produit contient, comme le nuoc-mam, outre des protéines animales de haute valeur biologique, des facteurs non identifiés qui manifestent une action favorable sur la croissance des jeunes animaux et particulièrement des porcs. Ceux-ci auraient des propriétés analogues à la fameuse vitamine B_{12} et aux « facteurs de croissance » antibiotiques utilisés maintenant dans l'alimentation pour provoquer une augmentation de l'appétit, rapidement suivie d'une accélération de la croissance et d'un abaissement de l' « indice de consommation ».

Le nuoc-mam apporte donc dans l'alimentation : des éléments minéraux indispensables à la formation des os et du sang (chlorure de sodium, soufre et phosphore organique et minéral); de l'iode pour le fonctionnement de la glande thyroïde; des métaux nécessaires à la production des globules rouges du sang, manganèse, fer et cuivre; des acides aminés directement assimilables et avec eux des vitamines et des « facteurs biologiques » nécessaires à la croissance et à l'équilibre de l'organisme.

Tout cela sous un faible volume, sous forme d'un simple condiment. A quel prix serait vendu cet élixir tonifiant doué de propriétés bienfaisantes reconnues telles par les biologistes modernes, si la publicité s'en emparait ? Mais le nuoc-mam, fabriqué par l'homme depuis les âges les plus reculés selon des méthodes empiriques transmises de génération en génération, n'a pas besoin de publicité, du moins auprès des Asiatiques.

M. Huard.

LES SYNTHÈSES dans la vie des plantes

2. Le mécanisme de la photosynthèse [1]

Nous avons vu, dans un premier article [1], quelle est l'importance de la photosynthèse dans la biologie des plantes et des autres êtres vivants, avec ses deux caractéristiques principales : la production de chaînes carbonées assimilables (sucres principalement) à partir de l'anhydride carbonique et de l'eau, la fixation de l'énergie solaire et sa transformation en énergie chimique qu'implique cette synthèse.

Si le mécanisme de la photosynthèse peut se résumer par la réaction :

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{lumière}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

dans laquelle $C_6H_{12}O_6$ représente la molécule d'un sucre tel que le glucose, son étude implique des méthodes variées. Les méthodes de la *physiologie* abordent généralement son aspect global et ses variations, celles de la *cytologie* la structure de l'appareil photosynthétique, de « l'outillage » mis en œuvre par les cellules chlorophylliennes des plantes, les méthodes analytiques de la *chimie* et de la *physique biologiques* permettent l'étude des transformations des molécules carbonées au cours de la synthèse et des migrations d'énergie.

Les résultats obtenus à l'aide de ces différentes méthodes doivent converger et être réunis dans une représentation compréhensive du mécanisme physiologique de la photosynthèse. Ils sont inséparables dans une description correcte du phénomène, la réalisation de cette synthèse exigeant la participation de multiples éléments protoplasmiques, de structures cellulaires vivantes, de molécules complexes, réceptacles des molécules plus simples mises en jeu, catalyseurs de leurs réactions réciproques, transformateurs et transporteurs d'énergie.

Structure de l'appareil photosynthétique. — L'importance de la chlorophylle, pigment vert, assimilateur, des plantes a été reconnue en 1776 par le médecin hollandais Jan Ingen-Housz, d'où l'ancien nom d'assimilation chlorophyllienne donné à la photosynthèse.

L'échec des nombreuses tentatives faites pour réaliser la photosynthèse à l'aide de solutions de chlorophylle, *in vitro*, démontre déjà la nécessité des structures cellulaires intactes. Les feuilles des plantes sont les organes photosynthétiques par excellence. Par la grande surface qu'elles déploient, elles se prêtent admirablement à la circulation des gaz. Celle-ci est facilitée par la présence de petites ouvertures, les *stomates*, de 5 à 15 µ de diamètre (fig. 1). Les stomates sont disséminés dans l'épiderme de la feuille, soit sur la face inférieure seule, soit sur les deux faces. Leur nombre est considérable : 10 000 à 30 000 par centimètre carré. L'absorption du gaz carbonique peut être aussi rapide que celle réalisée par une solution de potasse offrant à l'air une surface égale à celle de la feuille.

Dans les cellules foliaires, l'appareil assimilateur est constitué essentiellement par les *chloroplastes*, petits corpuscules verts de 4 à 6 µ de diamètre, au nombre de 20 à 40 par cellule (fig. 1 et 2). Eux-mêmes sont formés de grains plus petits, les *grana* réunis dans une trame protéique (fig. 3). Ces *grana* sont formés d'agrégats moléculaires complexes lipo-protéiques. Ils

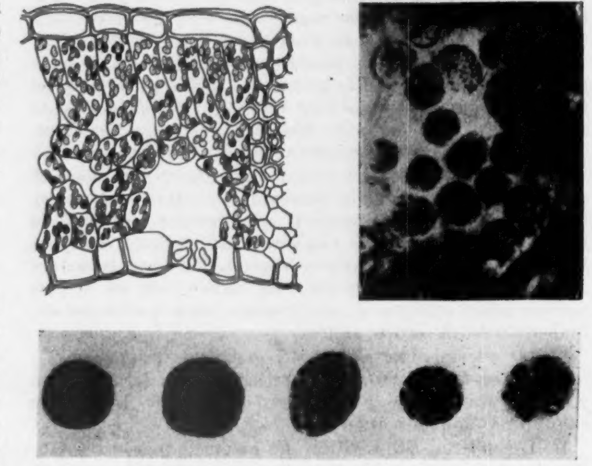


Fig. 1 à 3. — *L'appareil photosynthétique.*
En haut, à gauche : coupe transversale dans une feuille de Tulipier de Virginie ; on voit les chloroplastes dans les cellules et, en bas de la figure, un stomate (d'après Meyer et Anderson, 1939). *En haut, à droite* : chloroplastes dans les cellules de la feuille de *Todea superba* (d'après Heitz, 1936). *En bas* : grana dans divers chloroplastes (d'après Heitz, 1936).

renferment les pigments : les chlorophylles *a* (fig. 4) et *b* et des caroténoïdes. Les chloroplastes des algues, aux formes plus variées, renferment d'autres pigments. D'abord, éventuellement, d'autres chlorophylles sont présentes. D'autre part, dans les Algues brunes, la couleur verte des chlorophylles est masquée par un caroténoïde brun, la fucoxanthine. Les Algues rouges

Fig. 4. — *Formule développée de la chlorophylle a.*
La chlorophylle *a* est un pigment tétrapyrrolique, voisin de l'hématine de l'hémoglobine, et magnésien. I, II, III, IV : noyaux pyrrol.
(D'après Fischer).

1. Les synthèses dans la vie des plantes ; 1. Bilan de la photosynthèse, *La Nature*, n° 3222, octobre 1953, p. 298.

contiennent dans leurs chloroplastes un pigment rouge, la phycoérythrine, de nature protéique. Les Algues bleues doivent leur couleur à un pigment, la phycocyanine, disséminé dans leur protoplasme alors que leurs chlorophylles sont concentrées dans de petits grains comparables aux *grana*. Enfin, certaines bactéries, capables de photosynthèse, disposent de chlorophylles particulières. Tous ces pigments jouent un rôle dans l'absorption de la lumière utilisée, mais seule la chlorophylle *a* serait le véritable pigment assimilateur. En son absence, les autres sont incapables d'assurer eux-mêmes la fixation de l'énergie lumineuse sous la forme d'énergie chimique.

Les chloroplastes possèdent également de nombreux enzymes. Les mieux connus sont la chlorophyllase qui catalyse la dégradation des chlorophylles, l'anhydrase carbonique, qui accélère la décomposition des carbonates et des bicarbonates, de même que leur synthèse, avec libération dans le premier cas et fixation dans le second de l'anhydride carbonique. On y rencontre encore une carboxylase, enzyme de la fixation de l'anhydride carbonique sur des acides organiques, des enzymes réducteurs et des enzymes oxydants. Certains sont communs aux chloroplastes et au cytoplasme cellulaire. S'il n'est pas démontré que tous ces enzymes participent à la photosynthèse, il est probable que l'anhydrase carbonique, la carboxylase, les enzymes réducteurs et oxydants, auxquels se joignent certainement d'autres systèmes enzymatiques du cytoplasme, y jouent un rôle important, ainsi que nous le verrons plus loin.

Les différentes réactions biochimiques de la photosynthèse : réactions photochimiques et réactions sombres. — L'analyse physiologique a permis de mettre en en évidence plusieurs types de réactions dans le mécanisme photosynthétique. Lorsque des plantes vertes, dans une atmosphère riche en anhydride carbonique, et à température constante, sont soumises à des intensités lumineuses croissantes, la vitesse de leur photosynthèse croît avec l'intensité lumineuse. La photosynthèse se présente alors comme une réaction photochimique. Mais, si en présence d'un éclairement fort et constant, la température ambiante décroît ou s'élève, tout en restant dans l'intervalle des températures biologiques, la vitesse de la photosynthèse diminue ou croît, comme la température. Elle se comporte alors comme une réaction chimique ordinaire thermosensible et non plus comme les réactions photochimiques peu affectées par les variations du facteur thermique.

Il existe donc, dans le mécanisme photosynthétique, une ou plusieurs réactions photochimiques et une ou plusieurs réactions non photochimiques que l'on qualifie de « sombres », pour les opposer aux premières.

L'eau lourde, qui peut être utilisée à la place de l'eau ordinaire par les plantes, retarde la vitesse de la photosynthèse d'une manière d'autant plus nette que l'éclairement est plus fort, alors que son action est faible aux moindres éclairements. Son action retardatrice se manifeste surtout quand la vitesse globale du mécanisme est limitée par celle des réactions sombres.

Enfin, divers poisons des enzymes, tels que les cyanures, qui inhibent surtout la simple fixation de l'anhydride carbonique, l'hydroxylamine qui freine surtout l'émission de l'oxygène, ont permis de caractériser diverses réactions sombres.

Le mécanisme de la photosynthèse comprend donc une série d'étapes, les unes photochimiques, les autres non. Il s'agit de *réactions en chaînes*, la réalisation de la première commandant celle de la seconde, et ainsi de suite. L'arrêt de l'une d'entre elles suspend à la fois celles qui lui succèdent, faute de substances aptes à réagir, et celles qui la précèdent, par saturation des enzymes et des complexes intermédiaires qui ne peuvent se régénérer. Il en résulte un véritable « embouteillage ».

Lorsqu'une feuille passe brusquement de l'obscurité à la lumière, la mise en train de la chaîne est progressive. Elle débute par une fixation d'anhydride carbonique indépendante de l'intensité lumineuse et qui domine l'ensemble des réactions pendant quelques secondes. Cette fixation se ralentit un peu ensuite, puis s'accélère, avec une ou deux oscillations secondaires, tandis que les réactions de réduction de l'anhydride carbonique se mettent en marche. La période écoulée correspond à la *phase d'induction* photosynthétique, suivie, après quelques minutes, d'une *phase stationnaire* caractérisée par la constance de la vitesse de la photosynthèse (fig. 5).

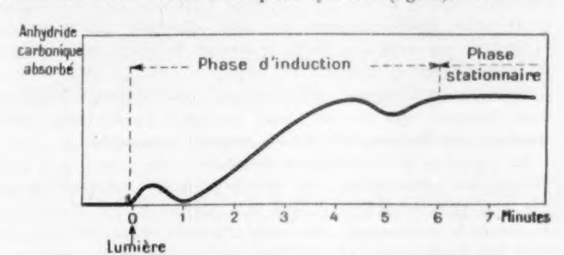


Fig. 5. — *Variations de la vitesse de la photosynthèse dans une feuille brusquement illuminée.*
En abscisses, le temps d'exposition à la lumière ; en ordonnées, la quantité d'anhydride carbonique absorbé (D'après Van der Veen).

Les réactions particulières sont cependant beaucoup plus rapides à se réaliser. L'action de la lumière intermittente constituée par la succession d'éclairs brefs, séparés par des intervalles d'obscurité, a permis de déterminer les vitesses approximatives des réactions photochimiques et des réactions sombres, chacune dans leur ensemble. Ces vitesses sont très grandes, inférieures à un cent-millième de seconde pour l'ensemble des premières et à un centième de seconde pour l'ensemble des réactions sombres.

La vitesse de la photosynthèse est enfin commandée par la grandeur des facteurs du milieu externe : intensité lumineuse, température, pression partielle de l'anhydride carbonique. Elle croît avec leur élévation jusqu'à un palier où elle demeure constante et c'est le facteur représenté au minimum qui la limite et dont l'accroissement permet son accélération. Cette accélération ne peut dépasser un plafond déterminé par les quantités présentes de chacun des catalyseurs nécessaires, de chacun des complexes fixateurs des substances intermédiaires, ou même plus simplement par le degré d'ouverture des stomates qui règle la diffusion de l'anhydride carbonique.

L'intervention de l'eau, source de l'oxygène émis et fournisseur d'hydrogène dans la réduction de l'anhydride carbonique. — Depuis une quarantaine d'années, le rôle de l'eau comme donneur d'hydrogène, dans les réactions biologiques, a été reconnu de plus en plus général. Ce rôle est évident dans la photosynthèse, puisque seule elle fournit l'hydrogène nécessaire à la réduction de l'anhydride carbonique. Mais on a cru pendant longtemps que l'oxygène émis par les plantes en photosynthèse provenait, en partie au moins, de l'anhydride carbonique. Il a fallu faire intervenir les éléments marqués pour éclairer ce problème.

En 1941, les chercheurs de l'Université de Californie, à Berkeley, eurent l'idée de cultiver de petites Algues vertes, les Chlorelles, dans de l'eau renfermant une forte proportion de molécules $H_2\,{}^{18}O$, dans lesquelles l'oxygène ordinaire ${}^{16}O$ est remplacé par son isotope lourd ${}^{18}O$. Ils constatèrent alors que l'oxygène libéré par les Algues en photosynthèse comprenait les mêmes proportions d'isotope ${}^{18}O$ que l'eau utilisée. La contre-épreuve, la photosynthèse des Algues en présence de $C\,{}^{18}O_2$ ne fut pas suivie d'une émission de ${}^{18}O$. L'oxygène

libéré par les plantes provient donc uniquement de l'eau et non de l'anhydride carbonique. C'est la raison pour laquelle la formule de la réaction globale de la photosynthèse doit s'écrire comme elle l'est en tête de cet article, et non comme autrefois :

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Au cours de la photosynthèse, la décomposition de l'eau est directement liée à l'absorption de la lumière par les organes chlorophylliens. Il est probable qu'elle fait partie des réactions photochimiques. En ce qui concerne l'oxygène, il est certainement capté immédiatement par une substance qui neutralise sa toxicité vis-à-vis des chloroplastes et le libère ensuite hors de leur contact.

Quant à l'hydrogène, des systèmes enzymatiques réducteurs s'en chargent, qui le distribuent ensuite à l'anhydride carbonique préalablement fixé sur un substrat convenable.

La captation de l'hydrogène arraché à l'eau confère aux catalyseurs des chloroplastes un grand pouvoir réducteur, acquis par voie photochimique et qui leur permet ensuite de réduire l'anhydride carbonique. Au cours de cette réduction, l'hydrogène est finalement fixé à la fois sur les atomes de carbone et sur les atomes d'oxygène des molécules d'anhydride carbonique, ainsi que le montre la formule développée d'un sucre, le fructose (fig. 10). De plus, un des atomes d'oxygène par molécule d'anhydride carbonique se retrouve combiné à l'hydrogène sous forme d'eau, ce qu'exprime la formule globale de la photosynthèse.

La photosynthèse peut donc être définie comme une réduction enzymatique de l'anhydride carbonique par l'eau, sensibilisée à la lumière par la chlorophylle.

Les diverses étapes de la réduction de l'anhydride carbonique. — Liebig supposait, il y a un siècle, que les acides organiques, tels que l'acide malique, l'acide oxalique, présents dans les plantes, étaient les produits intermédiaires de la photosynthèse. Par leur richesse relative en carbone, hydrogène et oxygène, ils se situent entre l'anhydride carbonique et le glucose. L'intuition de Liebig était près de la vérité. Cependant, en 1870, le chimiste von Baeyer émit une hypothèse très différente qui fut en vogue jusqu'à une époque récente.

D'après lui, l'aldéhyde formique devait être la première substance photosynthétisée, par la réaction suivante :

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow \underset{\text{Aldéhyde formique}}{HCHO} + O_2.$$

L'aldéhyde formique représentait alors, d'après sa composition, un élément de la chaîne carbonée des glucides :

$$\left[\begin{array}{c} H \\ | \\ -C- \\ | \\ OH \end{array}\right]$$

dont la polymérisation conduirait au glucose, au saccharose, et d'une manière plus générale à toutes les chaînes glucidiques représentées ainsi :

$$\left[\begin{array}{ccccc} H & & H & & H \\ | & & | & & | \\ -C & - & C & - & C- \\ | & & | & & | \\ OH & & OH & & OH \end{array}\right]$$

Cela soulevait de grosses difficultés en raison de la toxicité de l'aldéhyde formique et de la rareté de sa présence dans les plantes. Malgré quelques réussites de synthèse de l'aldéhyde formique, *in vitro*, en partant de l'eau et du gaz carbonique, malgré de nombreux remaniements de détail, cette hypothèse paraissait quelque peu fragile. Ce fut encore une fois l'utilisation des éléments marqués qui permit de franchir le pas décisif.

Les mêmes chercheurs de Berkeley, qui avaient montré l'origine aqueuse de l'oxygène émis par les plantes, cultivèrent des Algues en présence d'anhydride carbonique $^{11}CO_2$, ^{11}C radioactif remplaçant le carbone ^{12}C ordinaire. Ils espéraient suivre son cheminement, grâce à sa radioactivité. Ils constatèrent bien la fixation des molécules $^{11}CO_2$, indépendamment de l'éclairement d'ailleurs, par une réaction non photochimique, mais ne parvinrent pas à suivre les produits intermédiaires de sa réduction, car la durée de vie radioactive du ^{11}C n'est que d'une demi-heure environ. Cette durée est beaucoup trop courte pour qu'il soit possible de procéder aux nombreuses analyses chimiques nécessaires avant que la radioactivité du ^{11}C ait disparu.

A partir de 1947, dans le même laboratoire, le chimiste américain Calvin, entouré de nombreux collaborateurs, réussit à suivre de nombreuses étapes de la réduction de l'anhydride car-

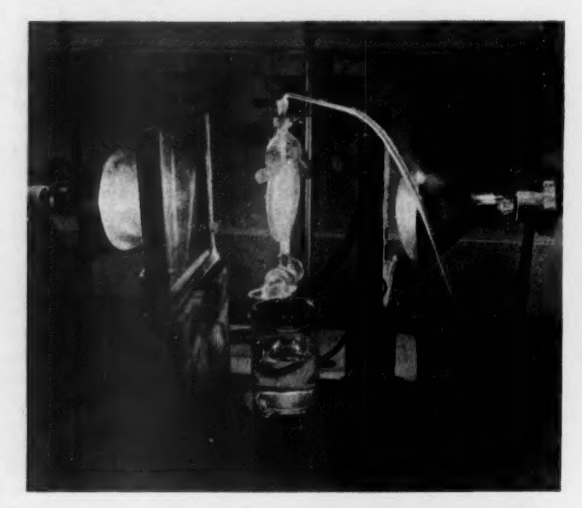


Fig. 6. — *Appareil pour l'étude de la fixation du $^{14}CO_2$ par les algues.* Les deux lampes éclairent de part et d'autre le flacon central en forme de lentille qui renferme une suspension d'algues mise en présence de $^{14}CO_2$ (anhydride carbonique à carbone 14 radioactif) ; après une courte période d'illumination, on laisse s'écouler la suspension dans de l'alcool bouillant ; les algues sont « fixées » et l'analyse chimique peut commencer.

(Photos Radiation Laboratory, University of California, Berkeley).

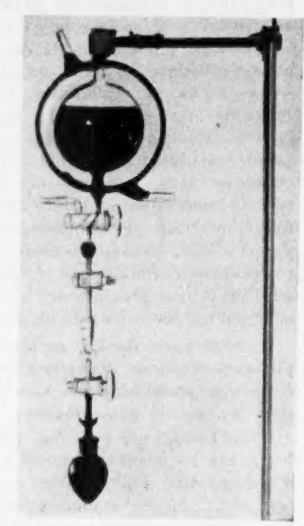


Fig. 7. — *Dispositif pour les expériences dites de « pré-illumination ».* Le flacon du haut, en forme de lentille plate et renfermant une suspension d'algues, est illuminé (en l'introduisant dans l'appareil de la figure 8) ; après cette illumination préliminaire, une fraction de la suspension est recueillie dans le petit flacon noir du bas ; on peut ainsi étudier le sort du $^{14}CO_2$ fixé, d'abord en présence de lumière, puis engagé dans des réactions qui se poursuivent à l'obscurité.

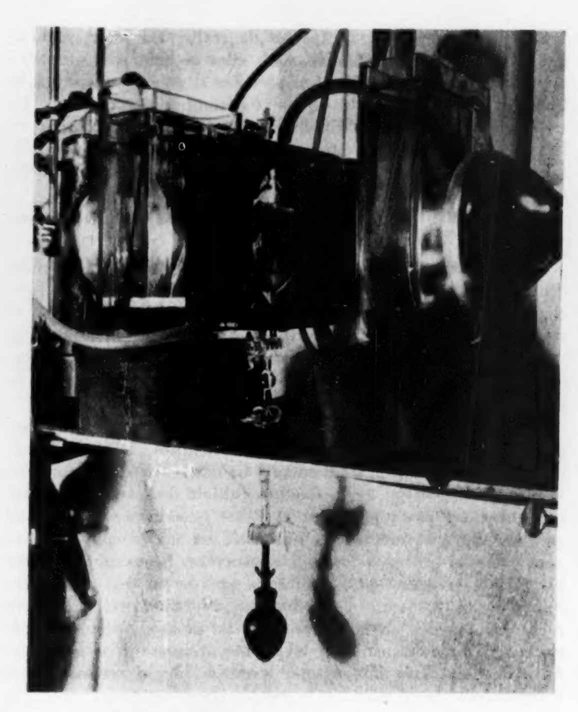


Fig. 8. — *Appareil pour « préillumination ».*

On reconnaît au centre le dispositif de la figure 7 ; du flacon supérieur partent des tubulures permettant de recueillir rapidement les suspensions d'algues et les gaz radioactifs, afin notamment d'éviter des pollutions radioactives gênantes ou dangereuses.

(*Photo Radiation Laboratory, University of California, Berkeley*).

bonique, en utilisant $^{14}CO_2$, le ^{14}C radioactif ayant une durée de vie de l'ordre de 5 000 ans.

L'équipe du professeur Calvin mit des Algues unicellaires (*Chlorella, Scenedesmus*) en présence de $^{14}CO_2$ ou du carbonate de sodium $^{14}CO_3Na_2$, tantôt à l'obscurité, tantôt à la lumière, pendant des périodes variables, de quelques secondes à plusieurs heures (fig. 6 à 8). Puis les Algues étant rapidement tuées, des extraits furent faits, fractionnés et purifiés par chromatographie sur colonne et sur papier (1). Les substances radioactives furent suivies à l'aide de compteurs de Geiger-Müller, les taches des chromatogrammes sur papier furent révélées sur papier photographique grâce à la radioactivité des substances ainsi isolées (fig. 9).

Les résultats obtenus furent remarquables. L'analyse systématique des produits formés pendant des périodes d'illumination de plus en plus longues, permit de suivre l'ordre d'apparition de corps déterminés, de plus en plus complexes, portant le ^{14}C.

Avec l'Algue *Chlorella*, l'ordre de leur apparition et leur nature sont les suivants :

Après quelques secondes de contact avec les cellules d'Algues, et aussi bien à l'obscurité qu'à la lumière, le ^{14}C paraît localisé dans les molécules des acides phosphoglycérique et pyruvique, à l'extrémité de leur chaîne, dans leur groupe carboxyle — OOH (fig. 11). La fixation est toutefois plus rapide à la lumière. Après 30 s d'illumination, ces acides renferment encore 70 à 75 pour 100 du ^{14}C, le reste étant distribué entre des amino-acides (alanine, acide aspartique), des acides organiques :

1. Voir : André BRETON, L'analyse chromatographique sur papier, *La Nature*, n° 3214, février 1952, p. 47.

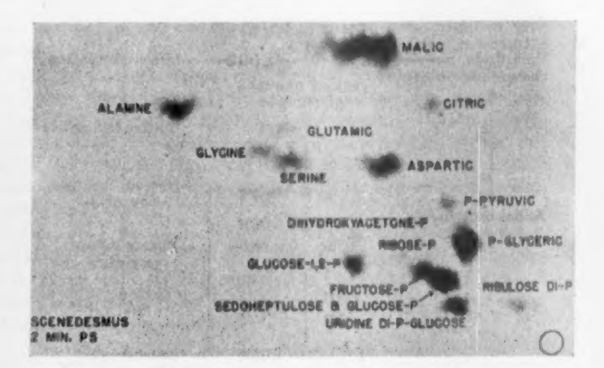


Fig. 9. — *Analyse chromatographique sur papier des produits de la photosynthèse.*

Autoradiographie d'un chromatogramme sur papier dont les taches correspondent aux différents produits de la photosynthèse réalisée par une algue du genre *Scenedesmus* après deux minutes d'illumination. P désigne le radical phosphorylé. On remarque notamment les taches correspondant aux acides phosphoglycérique et phosphopyruvique, la dihydroxyacétone-phosphate (triose-phosphate), divers glucides-phosphorylés (glucose, fructose, sédoheptulose, ribulose), quelques amino-acides (alanine, glycine, acides glutamique et aspartique) et quelques autres acides (malique, citrique, etc.).

(*Photo Radiation Laboratory, University of California, Berkeley*).

malique, glycolique. Puis le ^{14}C apparaît dans des glucides simples, combinés à l'acide phosphorique : les trioses-phosphates, toujours à une extrémité des molécules.

Ensuite, on le trouve en partie dans le fructose-phosphate, puis le glucose-phosphate, ces corps provenant de l'union de deux molécules de trioses-phosphates par l'extrémité de leur chaîne (fig. 10). Le saccharose est le premier sucre libre qui prend naissance. Après 5 mn, le ^{14}C est présent dans l'amidon, les protéines, les graisses. Il se distribue alors rapidement dans la plupart des constituants des organismes, à la faveur des réactions du métabolisme général aussi bien qu'à la faveur de la photosynthèse.

```
 CH2-O-PO3H2 ⎫           CH2-O-PO3H2 ⎫           CH2-O-PO3H2
 |           ⎪           |           ⎪           |
H-C-OH       ⎪          H-C-OH       ⎪         HO-C ────┐
 |           ⎪           |     + H2O ⎪           |      |
O=14C-OH     ⎪          O=14C-H      ⎪         HO-14C-H |
             ⎬ +4H ──►               ⎬ +2H ──►   |      O
O=14C-OH     ⎪          O=14C-H      ⎪         H-14C-OH |
 |           ⎪           |     + H2O ⎪           |      |
H-C-OH       ⎪          H-C-OH       ⎪         H-C ─────┘
 |           ⎪           |           ⎪           |
 CH2-O-PO3H2 ⎭           CH2-O-PO3H2 ⎭           CH2-O-PO3H2
```

2 molécules d'acide 3-phosphoglycérique (isomère de l'acide 2-phosphoglycérique) — 2 molécules de triose-phosphate — diphosphate de fructose

Fig. 10. — *Processus de formation d'un sucre, le fructose.*

Ces recherches répétées avec des feuilles d'Orge, de Soja, de Soleil, conduisirent toujours aux mêmes résultats. Les premiers produits apparents de la photosynthèse sont donc l'acide phosphoglycérique et l'acide pyruvique. Mais avant même que les sucres soient formés, d'autres acides, et notamment des amino-acides, snot synthétisés en petite proportion. L'ensemble de ces résultats peut se résumer dans le schéma représenté par la figure 11. La figure 10 indique la place du ^{14}C dans les premières molécules de sucres formés à l'état de phosphates.

De nombreux points restent encore obscurs. Le corps qui fixe initialement l'anhydride carbonique et qui doit comprendre deux atomes de carbone n'est pas connu. Il en est de même du méca-

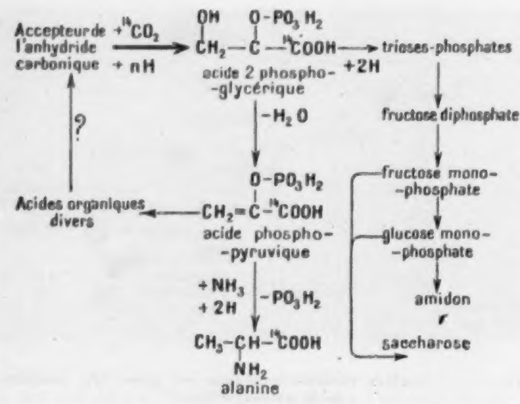


Fig. 11. — *Les étapes de la fixation et de la réduction de l'anhydride carbonique.*

(D'après CALVIN).

nisme de sa régénération. Le mode de couplage des réactions successives avec les enzymes réducteurs et les réactions photochimiques reste indécis. Cependant, cette riche moisson de résultats a fait faire un progrès considérable à nos connaissances. La chimie du mécanisme de la photosynthèse se découvre et, quittant le domaine des hypothèses, elle est parvenue à un stade expérimental où l'analyse qualitative et quantitative donne une impression de sécurité dans le dédale des réactions intermédiaires multiples.

D'un point de vue plus théorique, ces travaux ont permis de faire un pas considérable dans la compréhension du métabolisme des végétaux. Depuis que von Baeyer avait fait appel à la genèse hypothétique de l'aldéhyde formique, le mécanisme de la photosynthèse se situait à l'écart des autres mécanismes biochimiques, tels que les autres synthèses et les dégradations (respiration ou fermentations). Actuellement, on peut l'imaginer voisin du déroulement en sens inverse des oxydations respiratoires dont la réaction globale s'écrit :

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O.$$

Des réactions partielles sont certainement communes à la photosynthèse et à la respiration, puisque des substances intermédiaires identiques se retrouvent dans les deux cas, des acides organiques notamment. Dans les deux mécanismes interviennent également des substances phosphorylées, à haute réactivité chimique.

Il est probable que plusieurs enzymes sont également communs. Mais alors que le mécanisme respiratoire opère par oxydations croissantes, le mécanisme photosynthétique s'effectue par des réductions de plus en plus poussées, grâce aux catalyseurs hydrogénés lors de la décomposition photochimique de l'eau.

Essais de reconstitution du mécanisme photosynthétique avec les chloroplastes isolés. — Antérieurement même aux belles recherches de Calvin et de ses collaborateurs, l'étude du mécanisme de la photosynthèse avait été entreprise par des méthodes tout à fait différentes. Des recherches de plus en plus nombreuses ont été tentées pour étudier les propriétés des fragments de l'appareil cellulaire photosynthétique. Par broyage des feuilles et centrifugation, on peut isoler les chloroplastes hors des cellules. Il est possible d'obtenir même des suspensions de fragments de chloroplastes, de *grana* ou de fragments de *grana*, dans des solutions aqueuses convenables.

Ces suspensions sont incapables de réaliser la photosynthèse qui exige l'intégrité cellulaire, mais elles ne sont pas complètement inactives. Ainsi, mises en présence d'un sel ferrique, à la lumière, elles peuvent provoquer la décomposition de l'eau. Le sel ferrique est alors réduit en sel ferreux par l'hydrogène et l'oxygène est libéré. Diverses substances organiques ou minérales, divers enzymes, peuvent être réduits de la même manière que le sel ferrique.

Il était tentant d'essayer de coupler de telles réductions avec des réactions biochimiques connues.

En ajoutant à une suspension de *grana* tirés des feuilles d'Épinard, divers enzymes convenablement choisis et les substances dont ils catalysent l'attaque, le biochimiste Ochoa et ses collaborateurs de l'Université de New-York ont réussi la synthèse du fructose-phosphate à partir de l'acide phosphoglycérique. Cette synthèse correspond à plusieurs étapes de la photosynthèse.

Il s'agit, bien entendu, d'un « modèle » de photosynthèse, d'une image, car nombre d'enzymes utilisés, d'origine animale ou bactérienne, sont encore inconnus dans les plantes. D'autre part, l'étape de la fixation initiale de l'anhydride carbonique n'est pas représentée et il est nécessaire de protéger, par des moyens purement chimiques, les *grana* contre l'oxygène naissant qui en détruirait la structure. Néanmoins, le couplage de la réaction photochimique opérée par les *grana* illuminés avec une série de réductions biochimiques se trouve réalisée. Avec ces travaux, une nouvelle méthode d'étude expérimentale du mécanisme de la photosynthèse a pris naissance. Après l'analyse du mécanisme, les essais de sa reconstitution s'imposaient.

Mécanisme quantique et énergétique de la photosynthèse. — La connaissance de l'énergétique des êtres vivants est la plus grande ambition du physiologiste. Cette ambition a trouvé un vaste champ dans l'étude du mécanisme de la photosynthèse, en raison de l'intérêt que présente l'énergétique photosynthétique pour l'ensemble des manifestations biologiques.

En 1900, Planck exprime la transmission de l'énergie par quantités discontinues, les quanta; en 1913, Einstein suggère que la lumière chemine sous la forme de corpuscules, les photons, chacun d'eux portant un quantum d'énergie. Dix années plus tard, le biochimiste allemand Warburg transpose la théorie des quanta et des photons en photosynthèse.

Puisque l'on connaît la quantité d'énergie chimique emmagasinée dans une molécule-gramme de glucose, soit 672 000 calories, il est possible de calculer le nombre de quanta nécessaires pour assurer la réduction d'une molécule d'anhydride carbonique. Ce nombre ne peut être qu'un nombre entier. Le calcul montre qu'il en faut au moins 3 ou 4, selon la longueur d'onde de la lumière incidente.

Les premières déterminations expérimentales faites par Warburg lui ont montré que 4 quanta suffisent effectivement pour assurer la réduction d'une molécule d'anhydride carbonique en élément de la chaîne glucidique. Depuis, de très nombreuses déterminations ont été faites. Selon les organismes et les conditions de culture, l'exigence quantique de la réduction oscille de 4 à 12 quanta dans les cas les meilleurs. Cette exigence correspond à un rendement énergétique très élevé. De 80 à 20 pour 100 de l'énergie absorbée sont convertis en énergie chimique potentielle.

La figure 12 représente la succession des réactions, avec l'intervention de 4 quanta et de 4 molécules d'eau. Chaque molécule d'eau doit être décomposée en hydrogène et oxydryle (OH), à la suite de son activation par un quantum. L'hydrogène est capté par un enzyme, médiateur qui participe à la réaction photochimique et désigné par le symbole Z. Ce médiateur hydro-

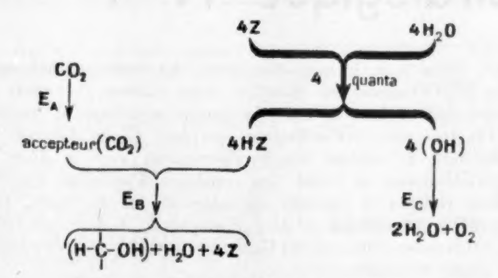


Fig. 12. — *Liaison entre les réactions photochimiques (accolades épaisses) et les réactions sombres de la photosynthèse.*

Z, médiateur de la réaction photochimique ; E_A, enzyme de la fixation du CO_2 ; E_B, groupe d'enzymes de la réduction du CO_2 ; E_C, groupe d'enzymes de la libération de O_2 ; H — C — H, maillon d'une chaîne glucidique.

géné sous la forme HZ distribue ensuite à la fois l'hydrogène et l'énergie qu'il a reçus aux substances intermédiaires de la réduction de l'anhydride carbonique. Ce dernier corps, fixé sur son accepteur par l'enzyme de carboxylation E_A, reçoit de l'hydrogène; il est donc réduit sous l'action des enzymes réducteurs désignés par le symbole E_B en acides organiques, puis en trioses, enfin en fructose ou en glucose. Les groupes oxydryles (OH) sont décomposés de leur côté en oxygène libéré et en eau par le groupe d'enzymes E_C (oxydases).

Bien qu'encore hypothétique, cette représentation tient compte à la fois des mesures énergétiques et de la présence des corps intermédiaires isolés.

Rôle des pigments dans la réaction photochimique. — Il serait tentant d'admettre que la chlorophylle joue le rôle du catalyseur Z et assure à la fois la conversion de l'énergie lumineuse en énergie chimique et le transfert de l'hydrogène de l'eau à l'anhydride carbonique. Mais on n'a pu mettre en évidence une réduction de la chlorophylle *in vivo* et, d'une manière plus générale, il ne semble pas qu'elle participe à la photosynthèse en prenant part à une réaction chimique ordinaire de combinaison avec l'un quelconque des corps mis en jeu.

La chlorophylle jouerait seulement le rôle d'un sensibilisateur optique de la décomposition de l'eau et du transfert de l'hydrogène aux enzymes réducteurs de nature encore indéterminée. Les seules variations qu'elle montre dans les cellules en photosynthèse concernent sa fluorescence qui diminue alors, traduisant vraisemblablement un remaniement dans la structure des atomes qui la constituent, sans que leur nombre soit changé.

Seule la chlorophylle *a* peut jouer ce rôle de sensibilisateur. Les autres pigments présents dans les chloroplastes, et qui participent activement à l'absorption des photons utilisés dans la photosynthèse, lui céderaient finalement l'énergie qu'ils ont reçue, ne pouvant eux-mêmes participer directement ni à la décomposition de l'eau, ni à la réduction des enzymes récepteurs d'hydrogène.

Ainsi, chez les Algues rouges, l'énergie lumineuse absorbée par la phycocyanine et la phycoérythrine serait cédée aux chlorophylles *a* et *b*, la chlorophylle *b* elle-même « donnerait » l'énergie qu'elle a reçue à la chlorophylle *a*, qui finalement la retransmettrait aux enzymes.

L'ignorance subsiste encore complètement sur le mode de conversion de l'énergie lumineuse, qui constitue maintenant le problème essentiel de la photosynthèse.

Conclusion. La photosynthèse et les autres mécanismes physiologiques. — Les découvertes des quinze dernières années éclairent d'un jour nouveau le mécanisme de la photosynthèse. Les réactions photochimiques à l'origine de la décomposition de l'eau, la succession des réactions sombres, enzymatiques, au cours desquelles l'anhydride carbonique est réduit, les diverses étapes de cette réduction, jalonnées par des intermédiaires connus maintenant, sont les données les plus saillantes acquises à la suite des travaux récents.

Si de nombreuses inconnues subsistent, ces découvertes permettent de mieux situer la photosynthèse dans l'ensemble des mécanismes physiologiques. Sa grande particularité réside dans ses réactions photochimiques. Mais, par ses réactions sombres, elle s'apparente aux oxydo-réductions cellulaires qui forment la trame des synthèses non photochimiques et des dégradations fermentaires ou respiratoires. En particulier, la photosynthèse présente de nombreux points communs avec les synthèses réalisées par les Bactéries autotrophes de la *chimiosynthèse* qui réduisent aussi l'anhydride carbonique avec formation de substances organiques, en utilisant, pour ce faire, l'énergie chimique libérée par l'oxydation exothermique de substances comme le soufre, les sels ferreux, l'hydrogène, l'ammoniaque.

Dans les deux cas, le mécanisme de réduction de l'anhydride carbonique peut être le même, à la source énergétique près.

L'originalité de la photosynthèse des plantes vertes se réduit à l'utilisation de la lumière dans la transformation de matières minérales en substances organiques riches d'énergie potentielle.

(*à suivre*).

A. Moyse,
Maître de recherches au C. N. R. S.

L'industrie des foies gras

On sait l'importance que tient la préparation des foies gras dans l'économie de régions françaises comme les plaines de Saône ou la Chalosse landaise. Le seul département des Landes fournit la moitié de la production française, ce qui est à retenir quand on sait que, dans le monde, la France et la Hongrie sont les seuls producteurs notables. L'Institut National de Statistiques et des Études Économiques communique à ce sujet les précisions suivantes :

Les apports sur les marchés, après avoir connu un maximum en 1950-1951, sont actuellement en régression, à la suite d'épidémies qui ont décimé les troupeaux d'oies : 345 t de foies gras (canards et oies) en 1950-1951, 233 t pour la campagne 1952-1953. Les principaux marchés sont, dans l'ordre, Aire-sur-l'Adour, Villeneuve-sur-Lot, Riscle, Tartas, Pau, Orthez, Saint-Sever et Dax.

Les exportations à destination de l'Union française sont en diminution, peut-être à cause du renchérissement des prix. En revanche, l'étranger achète des quantités croissantes de foies gras ; ce fait semble dû en partie à la cessation presque totale des exportations hongroises. Voici quelques chiffres concernant ces exportations :

Union française : 63 t en 1951, valant 45 millions de francs ;
57 t en 1952, valant 61 millions de francs.

(Les principaux acheteurs sont l'Indochine et l'A. O. F.).

Pays étrangers : 102 t en 1951, valant 246 millions de francs ;
180 t en 1952, valant 358 millions de francs.

(Les principaux acheteurs sont les États-Unis, la Suisse et la Grande-Bretagne, suivis d'assez loin par le Benelux, la Suède et l'Allemagne).

L'uranium, matière stratégique N° 1

Avant 1940, l'uranium était une substance chimique de second plan. Les minerais d'uranium étaient recherchés par la métallurgie et la céramique. Ils servaient à durcir certains alliages ou à colorer des verres. Cette dernière application des sels d'uranium était connue depuis très longtemps, notamment en Bohême. Au début du siècle l'uranium avait acquis une grande notoriété du fait de la découverte de sa radioactivité et des divers éléments radioactifs, dont le radium et le polonium, qui s'accumulent constamment dans les minerais uranifères.

Avec la découverte de la fission des noyaux d'uranium par les neutrons, ce métal a gravi brusquement le faîte de la pyramide des produits indispensables et stratégiques. L'avènement des piles atomiques et des bombes atomiques le classe actuellement comme la substance stratégique N° 1, le N° 2 étant le diamant industriel.

Découverte et propriétés. — Le chimiste allemand Klaproth découvrit en 1798 dans la pechblende, minerai de zinc, de fer et de tungstène, une substance nouvelle qu'il appela uranium, en l'honneur de la planète Uranus découverte en 1781 par Herschell. C'est seulement en 1842 que le chimiste français Péligot isola l'uranium de son minerai sous forme d'oxyde. Il dissolvait la pechblende pulvérisée dans l'acide sulfurique concentré et convertissait ainsi l'uranium en sulfate d'uranium soluble dans l'eau. Soixante-dix ans après, en 1914, Billy réussit à obtenir l'uranium métallique en réduisant le chlorure d'uranium par le sodium. D'autres réduisirent l'oxyde d'uranium par l'hydrure de calcium.

Actuellement on dissout le nitrate d'uranyle dans l'éther, ce qui permet d'éliminer les impuretés et de préparer un oxyde pur d'où on tire le métal après être passé par l'hydrofluorure et le tétrafluorure, que l'on soumet à l'électrolyse par exemple.

Le métal pur a une densité voisine de 18,5. Il est un peu moins dur que le fer et son point de fusion varie, suivant les impuretés, entre 1 300 et 1 900° C. Il donne des alliages avec le fer, le calcium, le magnésium, etc. La surface fraîchement polie de l'uranium est blanche, mais s'altère et brunit au contact de l'oxygène de l'air. La poudre métallique d'uranium s'oxyde très vite et s'enflamme vers 600° C, en donnant un oxyde vert. L'uranium réagit violemment avec le fluor, le chlore, le brome et l'iode. Les composés d'uranium sont des poisons violents et agissent spécialement sur les reins, provoquant de la néphrite et de l'albuminurie. A dose très faible (eaux thermales radioactives) l'uranium semble avoir une action biologique favorable.

Abondance sur le globe. — L'uranium est un élément chimique très répandu dans l'écorce terrestre. Il est facile de constater que tous les terrains contiennent des traces de substances radioactives. Des gaz radioactifs émis par ces substances se dégagent constamment de nombreuses sources ou par des cheminées naturelles. Certaines cavernes, grottes ou tunnels présentent une forte radioactivité.

La croûte terrestre, constituée principalement par des roches ignées de granit et de basalte, contient en moyenne 0,0004 pour 100 d'uranium. C'est-à-dire qu'il y aurait en moyenne 4 t d'uranium par million de tonnes de roches. Le poids d'uranium dans les couches superficielles de la croûte terrestre a été estimé à 10^{15} t; celui qui gît sous les océans serait de l'ordre de 10^{10} t. Rappelons que le poids de la Terre est de l'ordre de 10^{22} t. On en arrive à cette curieuse conclusion que l'uranium serait moins rare sur la Terre que le cadmium, le bismuth, l'argent, le mercure et l'iode; il serait presque aussi abondant que le cuivre et mille fois plus abondant que l'or. On ne l'a toutefois jamais trouvé à l'état de métal pur et rarement à l'état concentré.

On a jusqu'ici recensé une centaine de minerais d'uranium. Ce sont principalement des oxydes dans lesquels il se trouve associé à divers éléments et en particulier au thorium, aux terres rares et à divers métaux. Les plus importants de ces oxydes sont les uraninites dont la variété amorphe est la pechblende, noire, terne et qui contient de 30 à 80 pour 100 d'ura-

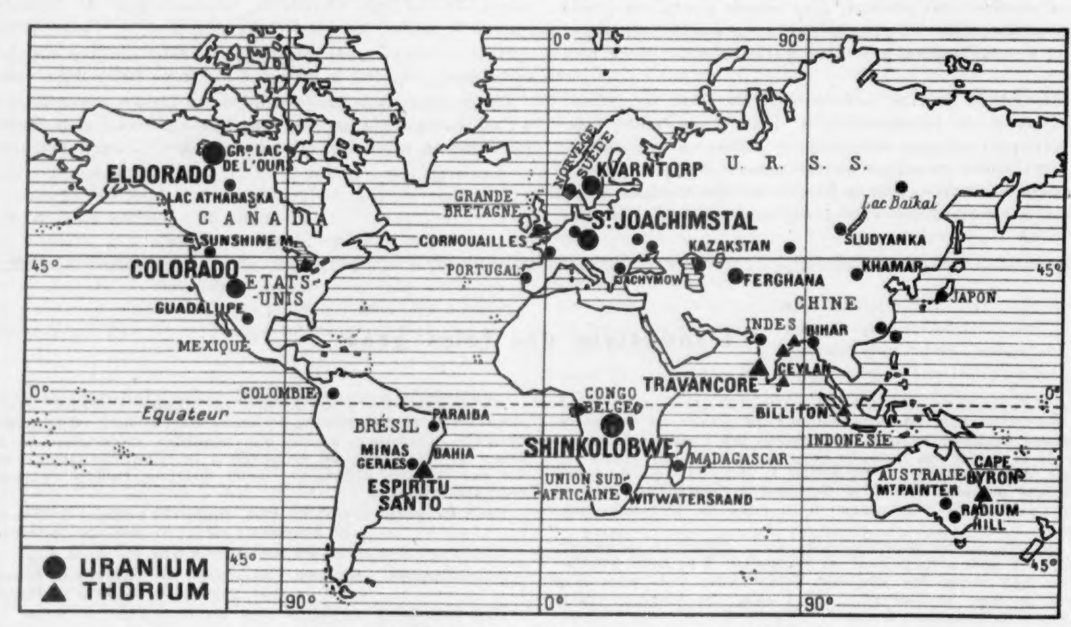


Fig. 1. — ***Distribution mondiale de l'uranium et du thorium.***

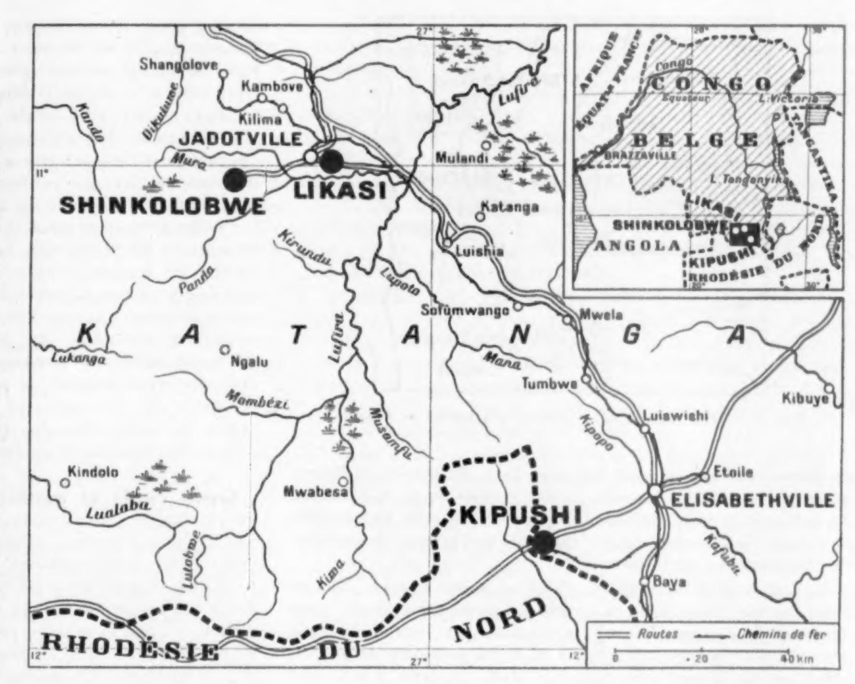


Fig. 2. — *Les trois centres de l'uranium au Congo belge.*

nium. Il ne faut pas la confondre avec un autre minerai également noir mais brillant, la samarskite, qui ne contient pas plus de 5 pour 100 d'uranium. Parmi les autres oxydes, citons la broggerite et la clévéite qui sont cristallisés et contiennent aussi de l'oxyde de thorium. Enfin la thorianite qui peut atteindre 10 pour 100 d'uranium et 65 pour 100 de thorium.

L'altération des oxydes donne des variétés hydratées comme la becquerélite ($CO_3 2H_2O$ à 72 pour 100 d'U), la curite ($2PbO\,5UO_3 4H_2O$ à 55 pour 100 d'U); la kasolite ($3PbO3UO_3 3SiO_2$, $4H_2O$ à 40 pour 100 d'U), la soddite ($12UO_2 5SiO_2$, $14H_2O$ à 72 pour 100 d'U), la thorite à 9 pour 100 d'U, etc. Les variétés phosphatées comprennent l'autunite ($2UO_4 2PO_4 8H_2O$) à moins de 50 pour 100 d'U; la chalcolite et la torbernite qui contiennent du cuivre et au maximum 50 pour 100 d'U. Enfin la monazite facile à extraire des sables (Ceylan, Brésil, etc.) mais qui ne contient que 5 pour 100 de Th et 1 pour 100 d'U. Viennent ensuite les vanadates, niobiates comme la carnotite qui est la principale source de l'uranium aux U. S. A. (Colorado), la ferghanite (Turkestan), la tuyaminite, la samaskite, l'euxénite, la bétafite, etc. Les principaux gisements dans le monde, au Congo belge et en France sont donnés dans les figures 1, 2 et 4.

Dosage de l'uranium dans un minerai. — ***Méthode chimique.*** — On pulvérise le minerai et on le dissout dans l'acide sulfurique. On précipite par H_2S et on sépare les sulfures insolubles : la solution restante est peroxydée et précipitée à son tour par NH_3. Les hydrates sont traités par une solution de carbonate d'ammonium, en vue de l'extraction de l'urane. La solution ammoniacale est concentrée, acidulée par l'acide nitrique et chauffée jusqu'au départ de CO_2. Cette solution neutralisée par NH_3 donne un précipité que l'on transforme par calcination en U_3O_8. Cet oxyde contient 84,8 pour 100 d'U. Du poids de l'échantillon pulvérisé au début de l'opération et du poids de l'oxyde calciné obtenu en fin d'opération on déduit la teneur en U de l'échantillon.

Méthode physique. — On met en solution une quantité déterminée de minerai et on laisse s'accumuler le radon en vase clos jusqu'à atteindre un équilibre que l'on obtient au bout de trois semaines; ou bien on effectue la mesure à n'importe quel moment, après la mise en solution et on introduit une correction donnée par les tables d'accumulation du radon en fonction du temps. On compare la mesure de la radioactivité du radon ainsi accumulé à celle d'une source standard, ce qui permet de déduire la quantité de radium contenu dans la solution. De cette valeur on passe à celle de l'uranium présent dans l'échantillon en multipliant par le rapport des vies moyennes, c'est-à-dire par le facteur 3.10^6.

Prospection des minerais radioactifs. — Lorsque les minerais d'U se présentent sous forme concentrée dans les filons d'un gisement quelconque, leur présence saute aux yeux des moins expérimentés, grâce à leur aspect caractéristique : couleurs brillantes, vertes, jaunes, ocres. Ces minerais sont fluorescents sous l'action d'une lampe à ultra-violets. Mais dans

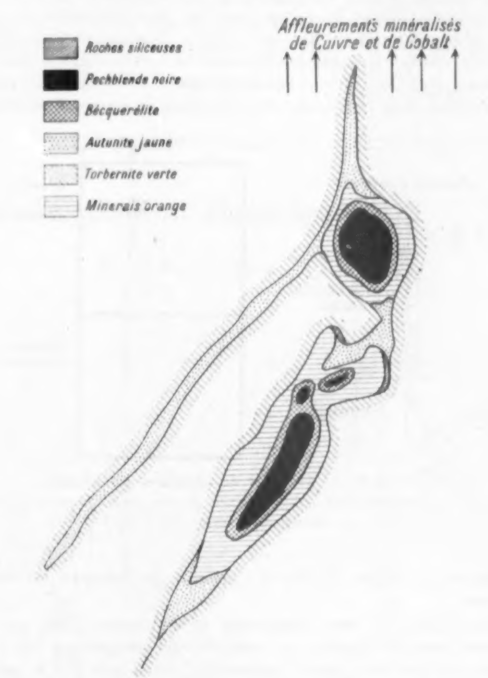


Fig. 3. — *Coupe verticale à travers un filon de Shinkolobwe.*
Échelle : 1/80.

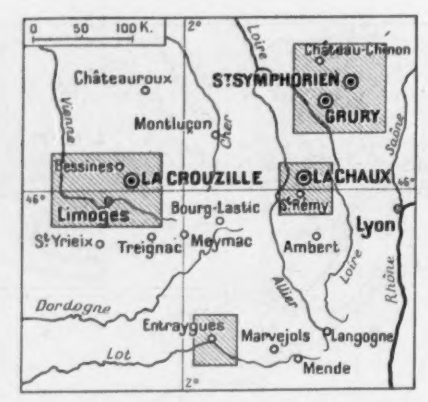


Fig. 4. — *Les principaux gisements d'uranium en France.*

la plupart des cas ils sont dispersés dans les masses rocheuses et les petites cristaux ne sont parfois visibles qu'au microscope. La méthode la plus pratique est actuellement celle qui consiste à mesurer la radioactivité des minerais soupçonnés de contenir de l'uranium ou du thorium.

Le terrain à prospecter est divisé en sections dont chacune fournira un échantillon. La roche, finement pulvérisée pour favoriser le passage des rayons ionisants, est introduite dans une chambre d'ionisation (fig. 5 et 6) ou présentée devant un compteur de Geiger. Elle peut être ainsi comparée à des sources témoins. Pour le prospecteur le plus défavorisé la plaque photographique offre un moyen économique d'analyser ses trouvailles. Il laissera séjourner des échantillons minéralogiques sur des films photographiques recouverts de papier inactinique. Les radiations de l'uranium et de ses descendants

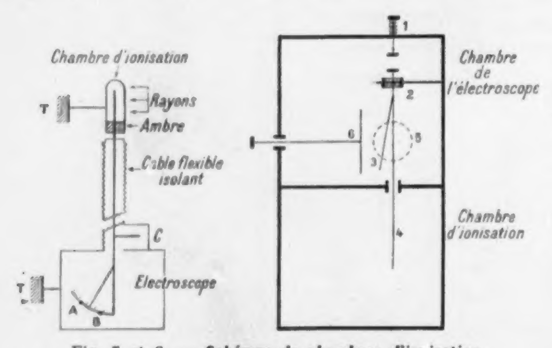


Fig. 5 et 6. — *Schémas de chambres d'ionisation.*
A gauche, la chambre d'ionisation reliée par un câble à un électroscope. *A droite*, la chambre fait corps avec l'électroscope.

finissent par voiler le film à l'endroit où reposent les échantillons.

Ces recherches sont laborieuses et coûteuses. C'est une des raisons pour lesquelles les méthodes de prospection de l'uranium ont pris des aspects inattendus. Ainsi aux U.S.A. on fait appel à toutes les bonnes volontés que l'on stimule d'ailleurs par des primes. Scouts, campeurs, retraités, etc., participent à ces recherches. Au Canada on fait de la prospection préliminaire par voie aérienne avec des hélicoptères ou avec des avions lents.

L'uranium 235. — On sait que l'uranium naturel est principalement constitué par l'isotope de poids atomique 238. Celui de poids 235 existe dans la nature au taux de 0,7 pour 100. Comme le 238, le 235 émet des particules alpha; il se désintègre de moitié en 500 millions d'années. Ce laps de temps représente la « période radioactive » T; la « vie moyenne » est égale à 1,4 T. C'est le combustible nucléaire naturel le plus recherché. Il s'obtient à partir de l'uranium naturel par des méthodes de séparation d'isotopes sur lesquelles nous n'insisterons pas ici. Un neutron lent pénétrant dans un noyau d'U 235 le fait exploser en deux fragments et deux neutrons. Ces neutrons « secondaires » amorcent d'autres fissions et ainsi de suite; c'est la réaction en chaîne divergente qui, en une fraction de seconde, dégage assez de chaleur, dans un volume convenable (masse critique) d'U 235, pour dégénérer en explosion atomique. L'isotope 238 fournit un autre élément fissionnable : le plutonium 239, dont la fission en deux fragments est accompagnée, en moyenne, de 3 neutrons secondaires. Le processus est le suivant : le noyau 238 d'U absorbe un neutron et devient U 239, radioactif bêta, qui donne naissance à un noyau de neptunium 239, également radioactif bêta. Ce dernier donne finalement le plutonium 239 convoité.

Cosmogonie et genèse de l'uranium. — Rappelons que si la vie moyenne de l'uranium 235 est de l'ordre de 700 millions d'années, celles de U 238 et de Th 232 sont respectivement 4 400 millions et 18 000 millions d'années. Si U 235 est supposé avoir été formé en même temps et en abondance comparable à U 238 dans le creuset cosmique, on en déduit, vu son abondance relative actuelle de 0,7 pour 100 et sa vie moyenne, que l'origine de cette « création » se place il y a quelques 3,5 milliards d'années. Depuis cette époque U 238 et Th 232 n'ont pratiquement pas décru. Ce chiffre est proche de celui donné par l'étude de l'expansion de l'Univers. Le début de cette expansion se place il y a 3 milliards d'années. A cette époque la matière très concentrée devait se trouver portée à une température énorme. Pour contrebalancer les forces attractives de gravitation, dans ce magma initial qui devait avoir une densité énorme, de l'ordre du milliard, l'expansion commençante devait être très rapide et partant les vitesses de récession très élevées. On trouve ainsi que la densité de ce noyau initial est passée de 10^9 à 1 g par centimètre cube en une trentaine de minutes. Le nombre de neutrons par centimètre cube était alors plus élevé que le nombre de protons, car la réaction « proton + électron → neutron + neutrino » favorisait la population neutronique. Par ailleurs les neutrons n'avaient pas le temps de se transformer en protons, leur vie moyenne étant de l'ordre de 20 mn; ils étaient capturés et donnaient des isotopes supérieurs des noyaux touchés. Ces isotopes étaient parfois instables et par radioactivité bêta donnaient des éléments d'un numéro, ou charge nucléaire, plus élevé. Ainsi s'expliquerait la formation des noyaux atomiques de plus en plus lourds et de plus en plus chargés, avec une abondance décroissante puisque la multiplicité des échelons à gravir, à partir de la combinaison initiale proton plus neutron, diminuait progressivement les chances de former les éléments supérieurs comme le plomb, le thorium, l'uranium, etc.

Thorium et uranium 233. — Le thorium, découvert en 1829 par Berzélius, est une matière première de grand avenir pour l'industrie atomique car il permet de fabriquer un isotope fissionnable d'uranium, l'uranium 233.

Le thorium existe en quantités importantes dans la nature. Il est trois fois plus abondant que l'uranium dans l'écorce terrestre et il présente sur l'uranium l'avantage d'avoir été concentré par l'érosion naturelle en gisements facilement exploitables et bien distribués géographiquement. Les principaux minerais de thorium sont la thorite (silicate de thorium et d'uranium) et la thorianite (oxydes de thorium et d'uranium) que l'on trouve surtout dans l'île de Ceylan et aussi

dans le Texas, en Norvège et à Madagascar. Jusqu'à présent, la seule source commerciale de thorium a été la monazite, phosphate complexe de terres rares qui contient jusqu'à 5 à 8 pour 100 et parfois plus d'oxyde de thorium.

Les principaux gisements (fig. 1) sont aux Indes, sur la côte, à l'ouest de la pointe sud, à Travancore, où ils s'étendent sur plus de 100 km, du cap Comorin à Quilon. On estimait, en 1925, les réserves à 2 millions de tonnes de monazite contenant 6 à 8 pour 100 d'oxyde de thorium. On trouve également des monazites sur la côte est, près de la pointe sud, et plus au nord, dans la région de Bihar er Ocrissa, mais ces gisements ne sont pas exploités.

Les gisements du Brésil sont probablement d'importance comparable à ceux de l'Inde. Ils s'étendent sur 400 km environ, sur les côtes des états d'Espiritu Santo et de Bahia; on en trouve aussi à l'intérieur des terres et sous des dunes. Leur teneur moyenne est de 0,5 pour 100 d'oxyde de thorium.

Les gisements de Ceylan, sur les côtes ouest et nord, sont beaucoup moins étendus, mais très riches. On en trouve encore aux Indes néerlandaises (Billiton), en Australie (sur la côte est, dans les États de Queensland et de Nouvelles Galles du Sud), dans les États Malais (sous-produit de l'extraction de l'étain), en Russie, à Madagascar, en Afrique et aux États-Unis.

L'extraction du minerai s'effectue par des méthodes primitives, la main-d'œuvre indigène le chargeant dans des paniers et le transportant ainsi à l'usine de traitement qui opère par séparation magnétique après tamisage et enrichissement.

Les monazites sont les seules sources de terres rares actuellement exploitées. Certaines ont des applications industrielles, comme le cérium, le lanthane, le néodyme et le praséodyme. D'autres, comme le samarium, l'europium, le terbium, l'erbium ne servent qu'à des recherches de laboratoire.

Les terres rares sont utilisées dans la fabrication d'électrodes en charbon pour arcs électriques. Leurs oxydes peuvent servir au polissage des verres d'optique. Avec le lanthane, on fabrique certains verres spéciaux et des filtres pour la photographie aérienne.

Le thorium naturel se compose de 7 isotopes, dont le plus abondant est le thorium 232. Ce dernier, absorbant un neutron, donne du thorium 233, radioactif, qui, par émission bêta, avec une période de 23 minutes, se transforme en protactinium 233. Une deuxième émission bêta, avec une période de 27 jours, donne l'isotope fissionnable 233 de l'uranium. Ces opérations peuvent s'effectuer à l'échelle industrielle dans les piles, où les neutrons peuvent irradier le thorium sous forme de carbonate ou de tétrafluorure.

L'uranium 233 pourra être extrait par des solvants organiques, après une période d'attente de 4 à 6 mois, nécessaire pour que la presque totalité du protactinium ait eu le temps de se désintégrer (ce délai correspond à cinq à six fois la période de désintégration du protactinium); on assure par cela même la disparition des produits de fission les plus gênants, dont la période est courte.

Néanmoins, toutes les opérations de traitement doivent être conduites à distance et avec de grandes précautions, tous les produits étant fortement radioactifs. On trouve en particulier toujours présent dans la masse du mésothorium 228, produit de désintégration du thorium, beaucoup plus actif que ce dernier (période 6, 7 ans au lieu de 13 milliards d'années).

L'uranium 233 étant toujours formé en faible quantité dans le thorium, il faut traiter ce dernier avant irradiation pour en éliminer toute trace appréciable d'uranium naturel qui se mélangerait à l'isotope que l'on veut obtenir.

On pourrait aussi, dès la sortie du thorium irradié dans la pile, en extraire très rapidement le protactinium qui, en se désintégrant lentement par la suite, livrerait de l'uranium 233 très pur.

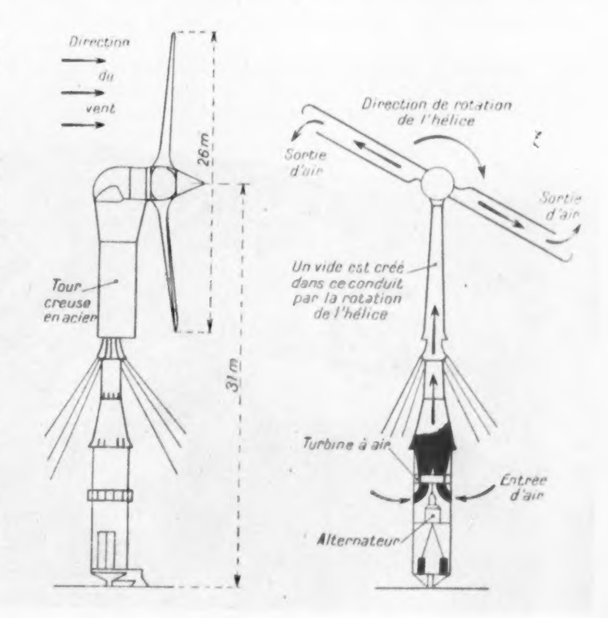
M.-E. Nahmias.

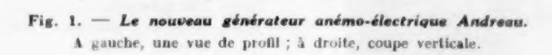
Nouveau type de générateur anémo-électrique

La British Electricity Authority vient de faire construire un générateur d'énergie électrique à partir du vent sur les plans de l'ingénieur français Andreau, bien connu des spécialistes de l'aérodynamique.

Ce nouveau type de générateur « anémo-électrique » comporte une hélice bipale de 26 m de diamètre placée sur un mât creux en tube d'acier de 31 m de haut et de 3 m de diamètre à la base (fig. 1). L'absence de liaison mécanique entre l'hélice et le générateur électrique confère à ce système une grande robustesse particulièrement importante pour l'emploi de l'énergie du vent. Le rôle de l'hélice à pales creuses est de créer dans le tube creux formant le mât une dépression amenant un courant d'air qui, à la base de la tour, actionne une turbine à axe vertical, elle-même entraînant l'alternateur. Dans ces conditions, l'hélice tourne à une vitesse sensiblement constante pour des vents allant de 45 km/h à 100 km/h; la puissance fournie atteint son maximum de 100 kW dès que le vent atteint 50 km/h.

Après les essais effectués par les sociétés Enfield et de Havilland, l'installation sera érigée définitivement dans un site favorable. Le principe de ce système le met à l'abri, semble-t-il, des dégâts que très souvent le vent occasionne aux installations destinées à utiliser son énergie.




Fig. 1. — *Le nouveau générateur anémo-électrique Andreau.*
A gauche, une vue de profil ; à droite, coupe verticale.

La défense des Pays-Bas contre la mer

Les désastres des 30 janvier et 1er février 1953 ont ramené l'attention universelle, accaparée par l' « actualité », sur l'opiniâtre effort des Pays-Bas disputant depuis des siècles leur sol à la mer. Dépêches dramatiques, vulgarisations hâtives, anticipations plus ou moins sérieuses se sont succédé pendant quelques semaines. Tentons, avec quelque recul, de dresser un tableau plus exact.

Entre la terre et l'eau. — Du haut de la butte caillouteuse qui porte l'ancienne petite citadelle de Berg-op-Zoom, à l'extrémité boisée des landes de Campine, le regard s'étend à l'infini vers l'ouest, jusqu'à l'horizon grisâtre où la mer et la terre basse se confondent. Au delà des chenaux de marée où reflue le jusant, des îles apparaissent, derrière des digues allongées, d'où dépassent des clochers et les cimes des peupliers : Tholen, Duiveland, Schouwen, Walcheren, Beveland ; elles forment la Zélande, la « terre de l'eau », où chaque pouce de sol cultivé doit être protégé contre l'eau envahissante. *Luctor et Emergo*, « je lutte et je surnage », disent les armoiries de la province.

Le même spectacle nous attend vers le nord, où l'embouchure commune de la Meuse et du Rhin se résout en une infinité de chenaux, d'îles et de bras confondus. Partout des digues enserrent les régions conquises par l'homme, les *polders* : « Vus de l'extérieur, ils s'élèvent comme des forteresses de pierre » (Demangeon).

C'est là, dans les trois provinces de Zélande, Sud-Hollande et Nord-Brabant, que les dévastations ont semé la ruine au cours des journées tragiques de février dernier. Les régions centrale et septentrionale des Pays-Bas ont été épargnées cette fois. Mais qu'on ne s'y trompe pas : elles sont exposées à la même menace, la conquête du sol s'y est effectuée de la même manière que dans le sud.

Napoléon, qui revendiqua la possession des Pays-Bas en tant que delta d'alluvions de la Meuse et du Rhin, aurait aussi bien pu les réclamer comme débris des falaises picardes. C'est en effet par le Pas-de-Calais, ouvert au début du Quaternaire, qu'un courant côtier entraîna vers le nord ces matériaux arrachés aux falaises de la Manche, et les déposa peu à peu selon cette belle ligne régulière qui va de Calais au Helder. Ce cordon littoral de dunes (elles atteignent 60 m de haut et parfois 5 km de large) isola une lagune intérieure que rétrécirent les alluvions des fleuves. Le lac Flevo en était un témoin résiduel à l'époque romaine. Cette lente sédimentation ne s'opéra pas sans à-coups provoqués par des retours offensifs de la mer, comme le prouve l'alternance des couches argilo-sableuses d'origine marine et des couches de tourbes d'origine lagunaire et continentale.

Vers le début de l'ère chré-

Fig. 1. — *Altitude des Pays-Bas.*
(Bureau d'information du Gouvernement néerlandais).



Fig. 2. — *Les dunes à Westhapelle (Walcheren).*
(Demangeon, *Géographie universelle*, t. 2, Armand Colin).



Fig. 3. — *Le Biesbosch.*
(DEMANGEON, *Géographie universelle*, t. **2**, Armand Colin).

tienne, la transgression dunkerquienne rompit le cordon des dunes en plusieurs endroits, le fragmenta en îles et constitua, entre celles-ci et le nouveau rivage, de larges estrans vaseux recouverts par la marée, les *wadden*. Cette fragilité du rempart des dunes explique les travaux de la part des hommes : fixation par les oyats, renforcement par des épis, des fascines, des digues de soutènement. Entre Hoek van Holland et Schéveningue, les dunes reculent sans cesse depuis le Moyen Age (au moins de 15 m encore entre 1843 et 1890); Schéveningue même a été ravagé souvent par les tempêtes, et il a fallu créer des ouvrages permanents de protection.

Quant à la digue de Westkapelle, dans l'île de Walcheren, elle comble un hiatus dans le front des dunes, sur une longueur de 4 km et une largeur de 100 m, dominant de 4 m le niveau des plus hautes mers. La tempête la respecta (en 1953 encore); il fallut les bombes, en 1944, pour en avoir raison. A l'heure actuelle, fixé, renforcé et constamment entretenu (fig. 1), le rempart des dunes peut être considéré comme solide. Il a bien résisté aux récents assauts de la mer, cette Mer du Nord « plate, grise, fuyante et moutonnante », comme la voyait Fromentin à travers les peintres hollandais, mais cette fois déchaînée, capable de drosser au rivage des navires de 3 000 t.

Entre dunes et terre ferme, toutes deux au-dessus des plus hautes mers, s'étend le delta des fleuves (Rhin, Meuse et Escaut) qui, lui, est au-dessous de ce niveau, et serait inondé sans la protection des digues (fig. 1). Certaines parties, représentant des mers intérieures asséchées, sont même au-dessous du niveau des basses mers, et doivent être en tout temps protégées (voir plus loin). De nouvelles difficultés proviennent de l'incessant déplacement des estuaires vers le sud. L'ancien enchevêtrement des eaux de la Meuse et du Rhin, aujourd'hui corrigé, est attesté encore par le nom de « Nouvelle Meuse » donné au Rhin dans la traversée de Rotterdam. Aujourd'hui, tandis que s'ensablent les estuaires du nord (Ijsel, Vecht, Oude Rijn), de plus en plus d'eau s'écoule par le Waal, la Merwede et le Hollandsdiep.

Cette attraction peut s'expliquer par un lent affaissement du sol, avec épicentre en Zélande; le sous-sol profond paraît en effet haché de fractures, et des savants néerlandais chiffrent l'affaissement de cette « zone de subsidence » à environ 25 cm par siècle (?). Jusqu'à présent, l'apport des alluvions des fleuves compensait ce mouvement négatif. Mais ils coulent maintenant enserrés entre des digues, leurs hautes eaux menaçant les terrains avoisinants; de plus, on drague le limon déposé à l'intérieur du lit mineur et on l'utilise pour la fabrication des briques, matériau n° 1 de la construction hollandaise (maisons, routes, pistes cyclables). Le sable dragué dans les mêmes conditions sert à remplacer l'argile et la tourbe sous les fondations des digues, des habitations, des chaussées, des remblais de chemin de fer. Ce besoin de sable est si grand qu'on a récemment dû limiter le dragage pour que le niveau des rivières ne s'abaisse pas trop !

L'amplitude des marées est aussi à considérer : si elle ne dépasse pas 1,25 m au Helder et 1,60 m à Rotterdam (qui a pu être relié à la mer par la *Nieuwe Waterweg* sans écluses), elle atteint 3,50 m à Flessingue et 4,30 m en amont sur l'Escaut, chiffres encore majorés en période d'équinoxe. La violence des courants de marée est ici particulièrement accusée, par suite de ces fortes dénivellations : « ils ébranlent les sols vaseux et mal fixés des rives; quand il y a des digues, ils peuvent en saper les bases... Deux fois par jour, la Zélande semble sortir de l'eau, puis s'y enfoncer » (Demangeon). Le danger est accru par les larges chenaux (*gatten*) séparant les îles, et qui facilitent l'irruption de la mer, par les estuaires, dans l'intérieur. Ainsi se forma le Biesbosch (« taillis de roseaux ») à la place d'un fertile terroir, le Waard, lors de la mémorable nuit de la Sainte Élisabeth (19 novembre 1421) (fig. 3). Ainsi furent prises à revers les défenses des îles, lors de la récente tempête. Ainsi l'invasion de la mer des Wadden dans le lac Flevo est-elle à l'origine de la formation du Zuiderzée (sans doute à la fin du XIVe siècle).

L'eau domine tout le problème hollandais : *Nederland*, *Holland* ne signifient-ils pas « pays bas », « pays creux » ? Depuis des siècles, l'extraordinaire labeur des hommes s'efforce de défier la nature.

Les polders. — L'organisation des polders néerlandais n'est pas unique en son genre : tout autour de la Mer du Nord (Wash, Tamise, Flandre, côtes allemande et danoise), on en retrouve le schéma général. Mais c'est aux Pays-Bas que cette organisation a atteint son plus haut degré de perfection. Dès le XVIIe siècle, des Hollandais prêtaient leur concours à l'assèchement du Marais poitevin et des marécages du Brandebourg. Depuis 1798, le Ministère des Eaux (Waterstaat) coordonne les efforts des particuliers et leur fournit l'assistance technique et financière de la collectivité.

Depuis le haut Moyen Age, où l'homme se risqua sur les buttes insubmersibles (*terp*), puis tenta de les relier entre elles en endiguant les bas terrains contre la marée haute, on doit distinguer plusieurs étapes. Les XIIIe et XIVe siècles furent marqués par de grands progrès : on voit se constituer les *wateringen*, associations de propriétaires unissant leurs efforts; le mot *polder* apparaît (pour la première fois dans un texte daté de 1219); les îles zélandaises sont soudées progressivement :

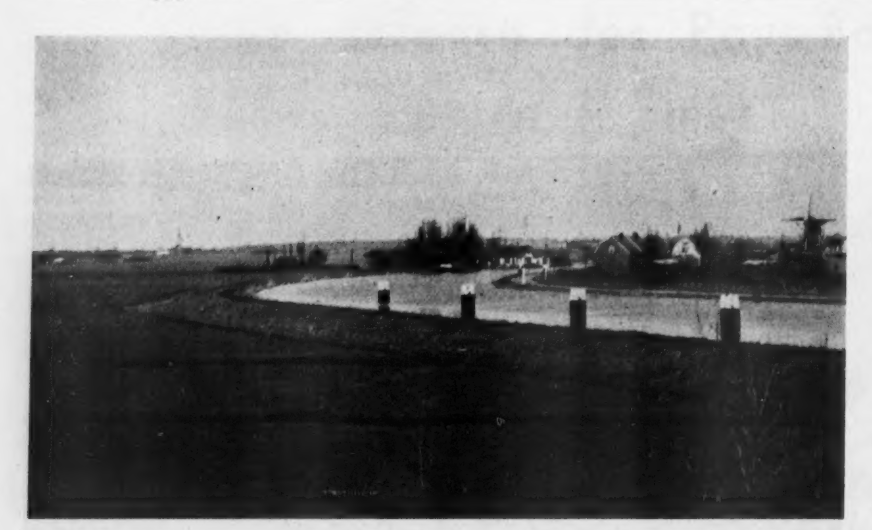


Fig. 4. — *Canal de ceinture (boezem) de la mer de Haarlem.*
Le canal est à 3 m au-dessus du polder de gauche, parcouru par des rigoles de drainage.
(*Photo* P. WAGRET).

écluses (Katwijk). Le spectacle n'est pas banal des mâts glissant au-dessus de la digue, quand un bateau emprunte un de ces *boezem* invisibles du polder lui-même.

Les frais d'entretien des polders sont considérables, mais justifiés par leur proverbiale fertilité. Qu'une digue cède dans ce cloisonnement, et c'est la ruine (fig. 5). Haarlem a élevé une statue à Pieter, le garçonnet légendaire qui sauva la digue à Spaandam, en bouchant de sa main une fissure pendant que les secours s'organisaient. Les cités en effet ont dû s'entourer de digues contre les eaux intérieures : de là vient la fréquence du suffixe *-dam* dans la toponymie néerlandaise (Amsterdam : digue de l'Amstel; Rotterdam : digue de la Rotte, etc).

Sur 3,5 millions d'hectares, superficie des Pays-Bas, la moitié sont considérés comme *polderland* (fig. 4); et sur ces 1 700 000 ha, 500 000 ont été conquis par l'homme depuis le XIIIe siècle. Après avoir cité le fameux proverbe « Dieu créa la terre, sauf la Hollande qui fut créée par les Hollandais », il faut conclure avec Kohl (1850) : « Ce sol, ce n'est pas de la terre, mais du sang, de la chair, de la sueur des hommes ».

Walcheren est formée de quatre îles, séparées encore en 1250, Tholen de cinq, Schouwen de six, la Flandre zélandaise d'une dizaine (le dernier bras de mer témoin, le Braakman, vient d'être obstrué à son tour, en 1952). Plus récemment unifiés, les noms doubles de Voorne-Putten, Schouwen-Duiveland, Gœree-Overflakkee attestent l'ancinne séparation.

Le « siècle d'or », le XVIIe, est l'époque des grands travaux. La richesse commerciale née du trafic des Indes permet de nombreux investissements; la lutte victorieuse contre l'Espagne a développé une conscience nationale; au point de vue technique, le moulin à vent autorise l'assèchement d'étendues plus vastes. C'est à ce moment que prennent leur figure actuelle les polders du sud et du centre. Depuis 1830 enfin, de grandes réalisations sont engagées à l'échelon national, comme le dessèchement des 18 500 ha de la mer de Haarlem (fig. 4) dont les flots impétueux menaçaient parfois Amsterdam! (1839-1852); comme l'actuelle entreprise du Zuiderzée; comme demain les grandioses projets de Zélande ou des Wadden.

Aux Pays-Bas, le zéro de l'échelle hypsométrique, fixé en 1818, correspond au niveau moyen des eaux alors constaté dans le port d'Amsterdam; d'où l'abréviation courante A. P. (Amsterdam Peil). Mais, au fond, c'est un niveau tout théorique depuis l'isolement du port par rapport à la mer; il sert essentiellement à la mesure de l'altitude des polders : l'aéroport de Schiphol, par exemple, près d'Amsterdam, possède un pilier gradué qui montre que le niveau du sol est à — 4 m A. P.

On distingue couramment aux Pays-Bas deux sortes de polders, terrains endigués sans relation avec le mode d'écoulement normal : les polders ordinaires sont à une altitude supérieure à la mer basse, ce qui leur a permis autrefois d'émerger, mais inférieure à la haute mer, ce qui a conduit l'homme à les entourer de digues. Le drainage et l'évacuation se font par simple gravité en ouvrant les écluses à marée basse. Les polders « bas », en revanche, ne peuvent avoir de drainage normal : leur altitude est en effet inférieure aux basses mers (exemple du Haarlemmeer ou des polders en construction du Zuiderzée); d'où la nécessité de pomper l'eau des rigoles de drainage et de la déverser dans des canaux collecteurs (*boezem*), dont le principal fait souvent le tour du polder entier (fig. 4) en le dominant de plusieurs mètres. Ce pompage est assuré par les moulins à vent, des machines à vapeur ou des moteurs électriques. L'eau est ensuite acheminée aux fleuves et à la mer par des écluses. On a parfois de véritables « chapelets de *boezem* » dont chacun forme un système indépendant, tel ce Vieux Rhin de Leyde, barré à ses extrémités, tronçonné par des

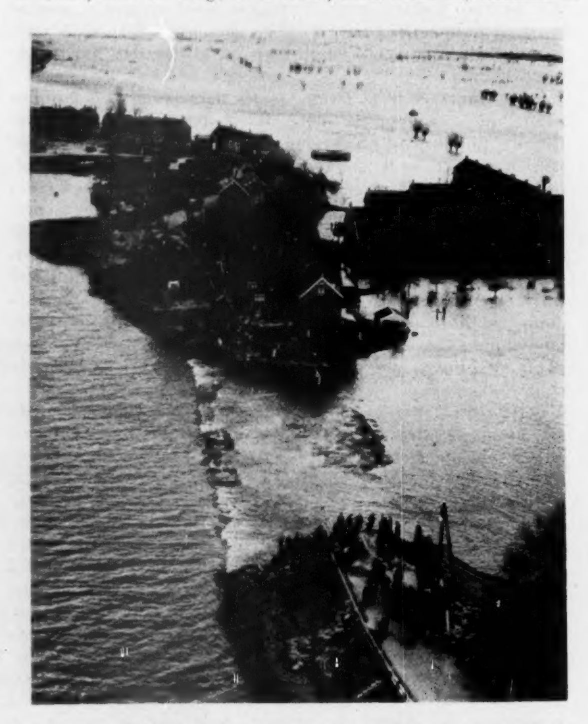


Fig. 5. — *Brèche dans la digue de l'Alblasserwaard (février 1953).*
(*Aéro-photo Nederland*).

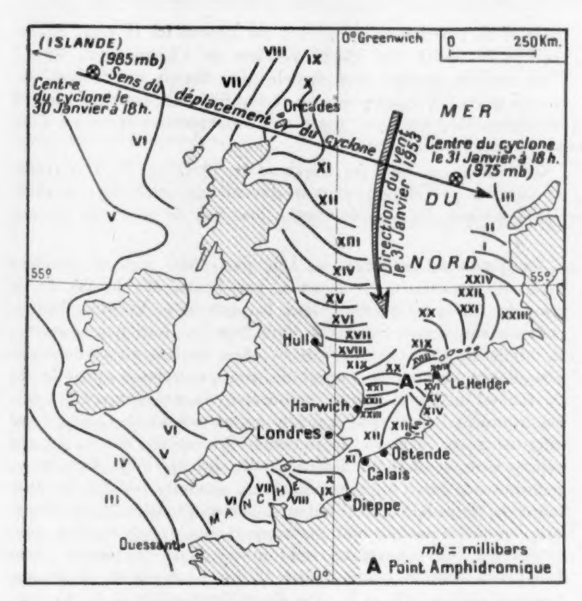


Fig. 6. — *Lignes cotidales et dépression cyclonique en Mer du Nord.*

La catastrophe et ses causes. — L'opinion a été surprise de la brutalité de la dernière catastrophe qui a ravagé le pourtour méridional de la Mer du Nord. L'histoire cependant offre de nombreux précédents : 1284, 1395, 1421 (nuit de la Sainte-Élisabeth), 1570 (marée de la Toussaint), 1825, 1916; il faudrait ajouter les désastres volontaires de 1672 et 1944-1945.

La plupart de ces catastrophes semblent avoir été provoquées par de violentes tempêtes se conjuguant avec de fortes marées. Certes l'imprécision des vieilles chroniques, qui parlent d' « ouragan », et le manque de renseignements scientifiques ne permettent pas de conclusions exactes. L'existence d'ouragans extraordinaires dans le passé est cependant établie : l'effondrement de la nef de la cathédrale d'Utrecht dans la nuit du 1er août 1674 est attribuée à l'un d'eux par tous les récits du temps. Mais le vent soufflant en tempête ne peut, à lui seul, rompre des digues; il faut que son action coïncide avec une marée de vive-eau. C'est encore ce qui s'est passé les 31 janvier et 1er février derniers.

L'onde de marée atlantique est déviée par les Iles Britanniques en deux flots distincts qui les contournent, l'un par le nord, l'autre par le sud (fig. 6). Le flot méridional remonte la Manche jusqu'au Pas-de-Calais et débouche dans la Mer du Nord; pendant le même temps, le flot septentrional, ayant un chemin plus long à parcourir, commence seulement à descendre le long de la côte orientale de l'Angleterre. En désignant par H l'heure de marée haute commune à Ouessant et à la pointe de l'Irlande, on a H + 6 à Dieppe et H + 8 à Ostende. Mais le flot septentrional ne touchera Hull qu'à H + 13, Harwich à H + 19, Londres à H + 20. Un intervalle d'environ 12 h, ou d'une marée, sépare donc Londres d'Ostende, bien que la mer y soit haute à peu près au même moment; le flot septentrional semble tourner autour d'un point amphidromique, de marée nulle, situé entre Hollande et East-Anglie : la mer est haute au Helder au moment où elle est basse à Harwich, en face.

La marée du continent paraît ainsi prolonger celle des côtes de Suffolk alors que, due à l'onde de la Manche, elle la précède en réalité de 12 h. Les phénomènes d'interférence qui se produisent dans cette partie méridionale de la Mer du Nord, particulièrement resserrée, expliquent la hauteur plus grande atteinte par le flux, en même temps que les marées doubles ou triples observées parfois sur les côtes : la mer reste étale, par exemple, jusqu'à 3 h à Zierikzee. Il est vrai qu'ici, le manque de profondeur, le morcellement des îles, les multiples combinaisons résultant de l'enchevêtrement des chenaux de marée accroissent l'intensité du phénomène et l'amplitude du flot (deux fois plus forte à Flessingue qu'à Rotterdam). Ces considérations ont malheureusement joué dans le sens d'un renforcement de la tempête, dans le cas récent.

La marée de vive-eau attendue le 1er février n'avait en soi rien d'exceptionnel (coefficient 83); ce coefficient devait atteindre 115 pour la marée suivante (16 février) et des chiffres voisins pour les grandes marées d'équinoxe de printemps. Rappelons que le coefficient d'une marée moyenne ordinaire est de 70, et d'une marée moyenne de vive-eau (tous les 15 jours) de 94; l'indice de référence 100 est affecté à une marée de vive-eau de déclinaison lunaire nulle, marée plus forte que la moyenne; les plus fortes marées d'équinoxe arrivent à 120. A 83, il s'agissait d'une marée à peine normale. Or, en de nombreux endroits, la mer a dépassé les niveaux jamais atteints, quoique le plus éminent spécialiste néerlandais, le professeur Thijsse, ait déclaré qu'à son avis la marée de 1570 avait dû être plus haute que celle de 1953.

C'est que l'influence du vent soufflant en tempête est venue s'ajouter à l'influence normale de la marée. Un vent furieux est capable de produire des vagues de plus de 12 m. De plus, la pression au centre de l'aire cyclonique (fig. 6) était très basse le 31 janvier : 975 millibars, soit 730 mm de mercure; or, une variation de 1 mm produit théoriquement une variation en sens inverse de 13,5 mm de la hauteur de l'eau; cela donnerait une élévation supplémentaire voisine de 40 cm pour la zone centrale de la Mer du Nord, de 20 cm encore pour les côtes de Zélande.

Au soir du 30 janvier, une dépression cyclonique venant d'Islande atteignait l'Écosse qu'elle traversait dans la nuit. Dans la journée du 31, se creusant sans cesse (jusqu'à 975 mb), elle se déplaçait vers le Danemark, avec son cortège de vents tourbillonnaires soufflant de plus en plus fort (fig. 6). Les vitesses de pointe enregistrées dans la nuit du 31 au 1er furent de 125 km/h à Paris, de 165 km/h à Reims! On devine ce que



Fig. 7. — *La mer s'engouffre dans une brèche.*
(Aéro-photo Nederland).

put être le déchaînement des flots poussés vers le sud, vers cet étroit goulot d'entre Hollande et Angleterre aux eaux sans profondeur, transformé en un véritable bassin de déferlement.

Si le cordon des dunes, renforcé par des digues maritimes, a tenu bon, de même que la digue du Zuiderzée, par contre les digues établies contre les bouches de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin ont souvent cédé (fig. 7), et la mer furieuse remonta loin dans l'intérieur (Langstraat, Alblasserwaard). Au cours de cette nuit tragique, 1 800 personnes perdirent la vie sur les 160 000 ha inondés subitement; 25 000 bovins, 20 000 porcs, 3 000 moutons, 1 500 chevaux, 100 000 volailles furent noyés; 32 000 ha de céréales, 15 000 de betteraves, 13 000 de pommes de terre, 10 000 de cultures maraîchères furent ravagés; plus de 4 000 habitations furent totalement détruites, 25 000 autres endommagées. L'histoire hollandaise ne connaissait pas de pareil désastre depuis 1421, où disparurent les 72 villages du Biesbosch.

Tout danger n'était d'ailleurs pas écarté : les grandes marées d'équinoxe de fin mars et mi-avril, plus élevées en soi que celle du 1er février, causèrent quelques ravages, notamment dans Duiveland et Zuid-Beveland (Kruiningen). Mais la violence du vent n'était pas comparable; c'est ce qui évita, semble-t-il, une seconde catastrophe.

Il est intéressant de relire après coup les observations de Demangeon, si fin connaisseur des problèmes hollandais : il constatait dès 1927 (*Géographie universelle*, tome 2) que l'expérience de l'île de Marken submergée en 1916, où l'eau avait dépassé de 32 cm le précédent record, démontrait que tempête et marée réunies pouvaient provoquer la submersion inattendue de terrains que l'on croyait sûrs. De même, Lequeux écrit en 1950 (*Géographie physique*, Delagrave) : « Il suffit d'un faible affaissement du littoral... pour que, sous l'effet immédiat de tempêtes exceptionnellement violentes, des irruptions désastreuses de la mer se produisent ». Faut-il aussi faire appel à l'hypothèse d'un relèvement progressif du niveau de la mer, consécutif à la fusion des glaces polaires de l'hémisphère Nord ? C'est un fait maintes fois signalé que, depuis un demi-siècle, le climat de cet hémisphère se réchauffe sensiblement; mais il est encore trop tôt pour juger des conséquences possibles d'un phénomène aussi récent.

Quoi qu'il en soit, les Néerlandais, avec un beau courage, ne perdent pas confiance dans l'avenir de cette terre si difficile à retenir. Ils se sont remis, une fois de plus, au travail.

Travaux et projets. — Une partie des régions inondées avait été spontanément évacuée par l'eau, dès la fin de la tempête; mais les polders, sans la protection de leurs digues, continuaient à être recouverts deux fois par jour par la marée. Il fallait en hâte obstruer les brèches, parfois en coulant des péniches de béton; ce travail ne sera pas achevé avant la fin de 1953. Ensuite, il faut se préoccuper du dessalement des terres inondées : du gypse français est actuellement fourni à cet effet au gouvernement néerlandais. On espère, dès 1954, une reprise des productions traditionnelles des îles : blé, betteraves, pommes de terre, oignons, légumes, produits laitiers. Le sud-ouest des Pays-Bas était d'ailleurs, par sa situation, isolé économiquement et socialement par rapport aux autres régions, plus évoluées : son charmant folklore en était la preuve. Sans toucher à celui-ci (souhaitons-le !), on profitera de la reconstruction pour accélérer le plan de modernisation et de développement mis en application il y a deux ans.

Mais il serait vain de relever simplement les digues existantes, sans envisager un plan d'ensemble : la longueur totale des digues de Zélande, par exemple, atteint 480 km, sur 530 km de côtes. Il apparaît difficile, pour des motifs à la fois financiers et techniques, de surhausser et de consolider ces digues déjà anciennes sur toute leur longueur; il est incontestable pourtant qu'elles ne présentent plus de garanties suffisantes contre un assaut simultané de la marée et de la tempête. Ces garanties peuvent sembler offertes par une grande digue moderne, ainsi que vient de le prouver l'ouvrage de fermeture du Zuiderzée. On aurait donc avantage à barrer les bras de mer séparant les îles par une grande digue maritime (fig. 8), opposant à la mer un front de défense beaucoup plus court; des économies considérables s'ensuivraient sur l'entretien des 1 100 km de digues existantes dans la zone sinistrée. Étant donné l'amplitude des marées il faudrait envisager un ouvrage plus massif que dans le cas du Zuiderzée, mais tronçonné en trois sections de longueur relativement courte par rapport à celui-ci.

A vrai dire, il s'agit d'un projet déjà ancien, dont l'idée fut lancée par l'ingénieur Van Veen, et dont l'étude avait été confiée ces dernières années au professeur Thijsse, de l'Université de Delft. Les récents événements en ont seulement fait apparaître la réalisation comme plus urgente. Les travaux préliminaires

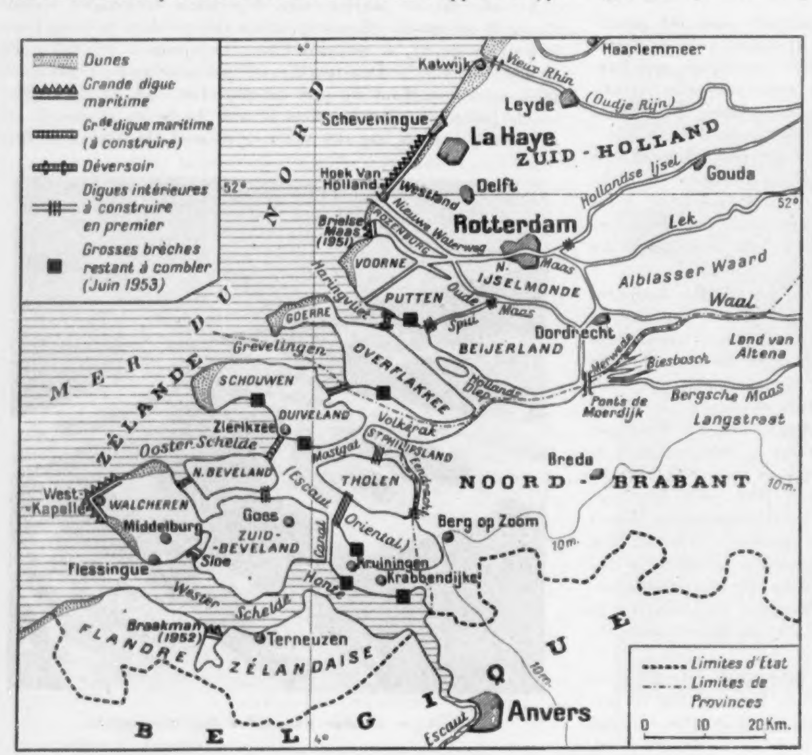


Fig. 8. — *Aménagements envisagés du sud-ouest des Pays-Bas.*
Les tracés définitifs ne sont pas déterminés.

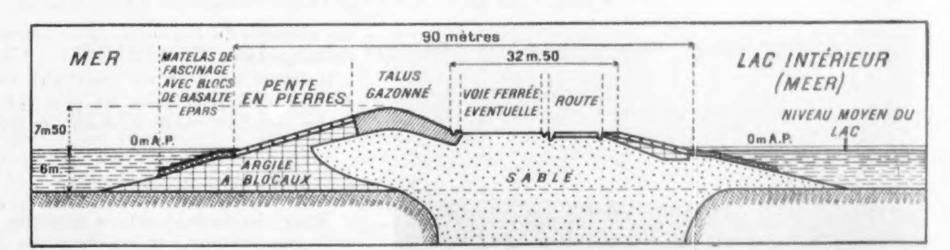


Fig. 9. — Coupe d'une digue de barrage maritime.
(D'après les documents du Waterstaat et services des travaux du Zuiderzée).

ont commencé au Laboratoire d'Hydraulique de Delft, où a été exécuté un plan en réduction de la région considérée; ils doivent se prolonger au moins deux ans. Il serait illusoire de vouloir aller trop vite dans un domaine soumis à tant de contingences et où tant de problèmes se posent : quelles seront les conséquences de la fermeture des passes sur les courants maritimes ? sur le niveau des futures marées qui ne pourront plus remonter dans l'intérieur ? sur les débouchés de la Meuse et du Rhin ? Sans compter les inconvénients qui nous échappent et qui n'apparaîtront qu'à la longue... Les Néerlandais espèrent tirer de leur expérience séculaire associée à l'emploi de la technique moderne une réponse satisfaisante à ces questions si complexes.

En tout état de cause, seules seront barrées les trois passes d'Ooster Schelde, Gravelingen et Haringvliet (des études minutieuses des fonds seront nécessaires avant de déterminer le tracé exact des futures digues). L'Escaut occidental (Honte) doit rester libre pour maintenir l'accès au port belge d'Anvers (un ingénieur du port travaille à Delft aux côtés des techniciens néerlandais). Enfin, un groupe détaillé d'écluses d'évacuation sera construit, probablement dans le Haringvliet, à l'aide duquel le niveau du lac intérieur, où déboucheront les rivières, sera réglé.

Il ne s'agit pas en effet, comme l'ont cru certains, d'assécher toute la surface isolée de la mer, soit quelque 80 000 ha. Jamais la Nieuwe Waterweg de Rotterdam ne pourrait, à elle seule, évacuer les eaux réunies de la Meuse et du Rhin. D'autre part, comment seraient assurées les relations directes entre Anvers et le Rhin, si importantes dans le trafic du port ? Enfin, il faut assurer les besoins en eau douce de l'agriculture car l'expérience du polder Nord-Est du Zuiderzée a suffisamment montré l'inconvénient d' « adosser » directement un polder au continent : les eaux douces infiltrées de celui-ci vont toutes au polder, situé plus bas, tandis que la terre ferme souffre de la sécheresse ! Un inconvénient de cet ordre existe pour Amsterdam, dont les pilotis, enfoncés de 25 à 30 m dans le sol, sont absolument rongés par la sécheresse dans la partie supérieure.

Un lac intérieur sera donc maintenu; mais certains atterrissements (*schorren*), déjà fixés par une végétation halophile (fig. 13), seront endigués et souderont des îles : Tholen + Saint-Philipsland + Zuid Beveland; Walcheren + Noord et Zuid Beveland. L'homme hâtera ici le rocessus naturel (fig. 9 à 12). On récupérera de même le Biesbosch, perdu depuis cinq siècles. Des barrages sur le Spui et le Hollandse Ijsel diminueront les risques de pénétration des eaux d'inondation, et limiteront l'influence néfaste de l'eau de mer. Ce dernier objectif est peut-être, en définitive, le plus important dans le plan Van Veen-Thijsse.

On s'est rendu compte depuis longtemps des ravages exercés par l'eau salée, remontant les estuaires, pénétrant par les écluses, s'infiltrant dans les terrains, menaçant la prospérité du

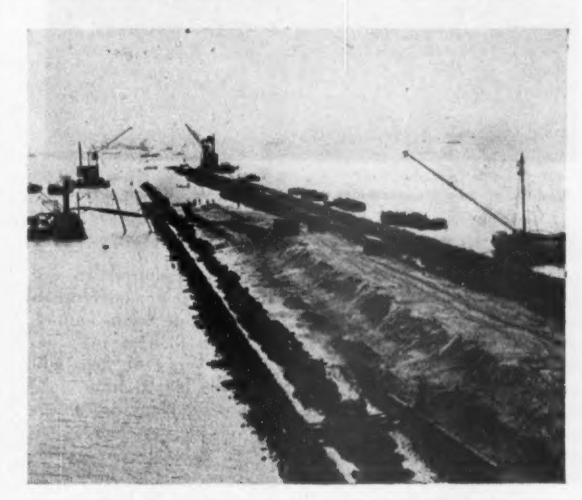


Fig. 10. — Construction d'une digue de polder.
(Aéro-photo Nederland).

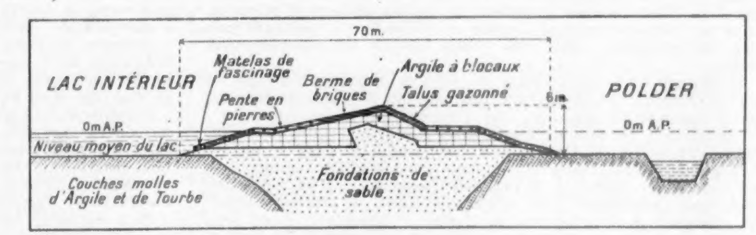


Fig. 11. — Coupe d'une digue de polder.

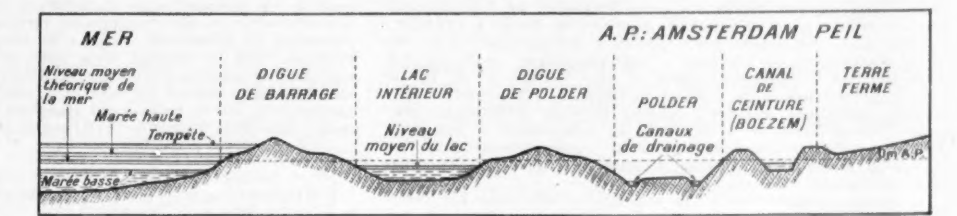


Fig. 12. — Coupe schématique de l'organisation d'un polder bas.
Cas du Zuiderzée et de futurs polders de Zélande ou des Wadden ; digue de barrage et digue de polder : voir fig. 9 et 11.
(D'après les documents du Waterstaat et services des travaux du Zuiderzée).



Fig. 13. — *Les atterrissemeents (schorren) de l'Escaut oriental.*
Vue prise de la digue de Zuid-Beveland (*Photo* P. WAGRET).

riche Westland, aggravant la pénurie des ressources en eau potable. Pour la province de Nord-Hollande seule, on estimait avant la fermeture du Zuiderzée à 50 millions de florins annuellement les dégâts causés par le sel. Entre 1938 et 1947, les méfaits du sel ont encore gagné de 15 km vers l'est, dépassant Dordrecht et l'Hollandse Ijsel : « Il est probable, disait en 1950 un porte-parole officiel néerlandais, que des travaux draconiens seront indispensables pour parer au danger de l'eau salée... On pense à élever des barrages dans un ou deux de nos grands fleuves, et même à boucher entièrement certains estuaires... ». La première étape de ce plan fut la fermeture de la Meuse de Brielle en 1951, la seconde celle du Braakman en 1952 ; d'autres auraient suivi, même sans l'inondation de février. Celle-ci aura simplement accéléré la solution d'ensemble du problème des estuaires du sud-ouest, en accentuant l'aspect « sécurité » de la question.

Il fallait un jour en venir aux mesures énergiques. Les Néerlandais savent qu'on ne joue pas éternellement à cache-cache avec leur vieille ennemie, la mer.

*
* *

Malgré les barbelés qui la protègent à l'instar d'un terrain militaire, montons sur le faîte d'une digue de Zélande ; d'un dernier coup d'œil, embrassons ce paysage que nos descendants ne verront plus (fig. 13) : au premier plan, s'étend la *schorre* du Verdronkenland, « terre inondée » d'hier où progresse le colmatage, aujourd'hui prés-salés que fixe la végétation. Au loin, tombant d'un de ces ciels mouillés chers à Ruysdaël, de brèves coulées de soleil font miroiter la vase grisâtre ; c'est la *slikke*, que découvre la marée basse. Demain, un riche polder s'étendra ici. Les prairies, entre les files de peupliers, nourriront les bœufs à robe noire et blanche, les récoltes mûriront là où la mer venait, deux fois par jour, battre le pied des digues.

Ces travaux ne sont pas commencés que déjà l'on pense à des réalisations encore plus vastes : l'endiguement de la mer des Wadden, entre les îles frisonnes et la côte, pourrait isoler 160 000 ha, dont 80 000 à transformer en polders. La première moitié de notre siècle aura vu débuter l'entreprise colossale du Zuiderzée, la seconde moitié verra sans doute la fermeture de la Zélande et des Wadden. C'est son avenir que construit le peuple néerlandais, pour donner une place à tous ses enfants, dont le nombre a doublé en l'espace de 50 ans, dépassant aujourd'hui les 10 millions (densité : 300 au km^2 !). Aucun pays ne donne une impression aussi forte de vie, de présence humaine jetant un défi à la nature. Si l'expression de « paysage humanisé » a un sens, c'est bien dans cette création continue que sont les Pays-Bas.

PAUL WAGRET,
Agrégé de l'Université.

L'ÉTUDE DE L'INSTINCT

M. N. Tinbergen, qui enseigne à l'Université d'Oxford, est l'un des maîtres de la psychologie animale actuelle. Se basant sur les travaux les plus récents de chercheurs européens, et principalement sur ceux de Lorenz et les siens propres, menés à l'aide de méthodes tendant à étudier l'animal dans les conditions les plus proches possibles du milieu naturel, Tinbergen, dans son dernier ouvrage traduit en français [1], présente non une interprétation, mais une étude *causale* du comportement inné.

Il dépend d'une intégration de stimuli externes (facteurs de déclenchement) et de facteurs internes (ou motivationnels). Les idées importantes apportées par Tinbergen sont les suivantes : 1° distinction des stimuli « potentiels » correspondant aux capacités sensorielles de l'animal, et des stimuli « réels », ou *stimuli-signaux* (S-S) intervenant dans une réaction donnée ; en utilisant des « leurres », il est possible de décrire les S-S partie intégrante nécessaire d'un *mécanisme inné de déclenchement* ; 2° existence de « réactions en chaîne » dépendant d'une série spéciale de S-S successifs. En particulier, des stimuli « additionnels » sont souvent nécessaires pour déclencher un type particulier de réponse, que le stimulus essentiel se borne à orienter ; d'autre part, distinction des réponses « préparatoires » et des actes d'exécution ou réponses « consommatrices » ; 3° les S-S sont toujours « configurationnels », ou « formes » ; 4° ils ne jouent qu'en fonction de données internes, de trois sortes : hormones ; sensations internes ; facteurs nerveux intrinsèques centraux ; 5° présence d' « activités de substitution » lorsqu'un conflit s'établit entre deux modes de comportement inné, ou lorsqu'un facteur motivationnel intense ne trouve pas de situation stimulante adéquate.

Références perpétuelles à des expériences effectuées sur Insectes, Oiseaux, Poissons (en particulier l'Epinoche). Et tout ceci conduit Tinbergen à proposer un schéma personnel du mécanisme des réactions instinctives : hiérarchie de mécanismes innés de déclenchement » correspondant aux divers niveaux de spécificité des réponses (stimulis additionnels et réponses consommatrices sont par exemple à un niveau inférieur, le comportement « appétitif » à un niveau supérieur) ; existence de « mécanismes centraux d'excitation » liés aux facteurs motivationnels, toujours à un niveau supérieur, d'où jaillisent des reflux qui ne « passent » que dans la mesure où un mécanisme de déclenchement leur donne l'occasion de susciter une réponse en fonction d'un stimulus-signal.

Finalement, l'auteur définit un instinct comme étant « un mécanisme nerveux, organisé hiérarchiquement, sensible à certains influx amorçants, déclenchants et dirigeants, d'origine aussi bien interne qu'externe, et répondant à ces influx par des mouvements coordonnés qui contribueront à la conservation de l'individu et de l'espèce ».

Bien entendu, Tinbergen ne tente aucune explication des origines de l'instinct, il analyse le « comment », et non le « pourquoi ». Sa perspective se rattache au mécanisme propre à la *Gestalt-theorie*, et nous sommes en présence d'un singulier rajeunissement du mécanisme « naïf » de Loeb ou même de Rabaud. Pourtant, tout en rejetant toute position finaliste, Tinbergen est amené à reconnaître l'existence de conduites « intentionnelles », lors du comportement appétitif et à admettre que « le problème fondamental ne se trouve pas dans les mécanismes physiologiques, mais dans l'histoire et la genèse de l'espèce ».

J. C.-F.

1. *L'étude de l'instinct*, par N. TINBERGEN, 1 vol. in-8°, 308 p., 130 fig.. Payot, Paris, 1953. Prix : 1 000 F.

Les tremblements de terre
de la Mer Ionienne et de la Méditerranée orientale

La Méditerranée orientale a toujours été une région instable où les séismes sont fréquents. En particulier, la Grèce et les îles qui l'entourent présentent des anomalies de gravité et ont subi maintes fois dans l'histoire des secousses et des tremblements de terre aux conséquences désastreuses. Les relevés des épicentres, établis notamment par l'Observatoire sismologique de Strasbourg sous la direction de ses directeurs, MM. Rothé, montrent que les fréquences les plus grandes s'alignent sur les plis alpins, à l'ouest de la Grèce, et particulièrement dans les Iles Ioniennes : Ithaque, Céphalonie, Zante qui parsèment l'entrée du Golfe de Corinthe à l'ouest, où une sorte de charnière marque la déviation des plissements vers le sud-est, le long de la presqu'île de Morée pour atteindre la Crète et plus loin à l'est Chypre et la côte sud de la Turquie.

On a gardé le souvenir des 306 secousses ressenties dans l'île de Zante pendant l'année 1896 et depuis d'autres séismes ont intéressé la même région, vers 38°30′ N et 20°30′ E.

Le 7 août dernier, une première secousse fut ressentie. Le surlendemain 9 août, à 7 h 41 mn, les îles d'Ithaque et de Céphalonie furent à nouveau ébranlées. A Ithaque, 200 maisons s'effondrèrent ou furent gravement endommagées; on compta 3 morts et 50 blessés. Le 10, les secousses continuèrent et se firent fortement sentir à Zante également. Le 11, deux villages de Céphalonie s'effondrèrent faisant 150 morts et 250 blessés; sur Ithaque, Vathy, le port d'Ulysse, eut 98 pour 100 de ses maisons écroulées ou lézardées; sur Zante, la ville fut détruite, en grande partie brûlée par les incendies qu'allumèrent les foyers de cuisine renversés, les conduites d'eau rompues ne permettant pas de les éteindre.

Le 12 août, à 9 h 29 mn, un tremblement de terre encore plus fort fut ressenti. A Céphalonie, les deux ports d'Argostoli et de Lixouri furent entièrement détruits. Argostoli, base navale britannique pendant la dernière guerre, comptait 8 300 habitants et avait une prison dont les murs s'écroulèrent; il fallut rassembler et garder les prisonniers sous escorte.

Depuis, les séismes ont continué et l'on en signalait toujours de nouveaux au début de septembre; ils ont anéanti les bâtiments déjà endommagés et augmenté le nombre des victimes. Les trois Iles Ioniennes comptaient 120 000 habitants qui campent maintenant sous la tente. Les récoltes ont été détruites par les tornades et les tsunamis accompagnant les mouvements du sol. Des secours sont venus de diverses parts : avions, bateaux, vivres, médicaments, tentes. La France a envoyé le contre-torpilleur *Terrible* porteur de denrées, de lits et de matériel d'hôpitaux; des volontaires sont partis aider au déblaiement; une souscription nationale est ouverte, un village vient d'être adopté.

* * *

On n'en avait pas fini avec les îles que le 5 septembre, un autre tremblement de terre sévissait dans la région de Corinthe. La ville, détruite en 1928 par un séisme et reconstruite à l'épreuve des mouvements du sol, n'en souffrit pas trop, mais une centaine de vieilles maisons s'écroulèrent et on compta une vingtaine de blessés. Dans le canal de Corinthe, des berges s'écoulèrent.

Le 10 septembre, d'autres mauvaises nouvelles arrivaient de l'île de Chypre, beaucoup plus à l'est. A 6 heures, un séisme avait ravagé l'ouest de l'île; l'épicentre en était un peu au nord de Paphos. Un peu moins violent que ceux ressentis aux Iles Ioniennes un mois auparavant, il avait ravagé la ville de Paphos, de 6 000 habitants; il y avait causé une quarantaine de morts, plus de cent blessures graves, détruit ou lézardé plus de 500 maisons et coupé les conduites et les communications. Aux alentours, trois villages étaient presque totalement détruits et, dans un rayon d'une trentaine de kilomètres, 135 autres villages étaient fortement endommagés. Des blessés furent hospitalisés à Limassol, sur la côte sud de l'île et la flotte anglaise, en manœuvres dans la région, vint au secours, en renfort de l'aviation et de l'armée alertées aussitôt, cette dernière gênée dans ses transports entre Nicosie et Paphos par des crevasses apparues sur le mont Panayia et des risques d'éboulement sur les routes et villages de la vallée proche.

Tout cela révèle une crise présente d'instabilité de la croûte terrestre. Les enregistrements des sismographes et les calculs géodésiques situent l'origine de ces séismes à moins de 100 km de profondeur. On aimerait découvrir, sinon leur cause et leur mécanisme précis, tout au moins le moyen de les prévoir.

A. B.

LE CIEL EN DÉCEMBRE 1953

SOLEIL : du 1er au 22 sa déclinaison décroît de — 21°48′ à — 23°27′, puis croît jusqu'à — 23°6′ le 31 ; diamètre apparent le 1er = 32′29″,8, le 31 = 32′34″,9 ; *Solstice d'hiver* le 22 à $3^h31^m34^s$: *le Soleil entre dans le signe du Capricorne*. — **LUNE :** Phases : N. L. le 6 à 10^h48^m, P. Q. le 13 à 16^h30^m, P. L. le 20 à 11^h43^m, D. Q. le 28 à 5^h43^m ; *périgée* le 16 à 14^h, diamètre app. 32′28″ ; *apogée* le 28 à 15^h, diamètre app. 29′34″. Principales conjonctions : avec **Mars** le 2 à 4^h, à 6°52′ N., et avec **Neptune** à 17^h, à 7°17′ N. ; avec **Saturne** le 3 à 12^h, à 7°44′ N. ; avec **Mercure** le 4 à 21^h, à 6°48′ N. ; avec **Vénus** le 5 à 10^h, à 5°8′ N. ; avec **Jupiter** le 19 à 23^h, à 3°23′ S. ; avec **Uranus** le 22 à 6^h, à 0°18′ N. ; avec **Neptune** le 30 à 3^h, à 7°26′ N. ; avec **Mars** le 30 à 23^h, à 6°38′ N. ; avec **Saturne** le 31 à 2^h, à 7°30′ N. Principales occultations : de l'étoile q (*Vierge*) (mag. 5,4), émersion à $6^h11^m,2$; de λ *Capricorne* (mag. 5,4), immersion à $18^h36^m,6$; de 83 B *Lion* (mag. 5,9), émersion à $23^h33^m,3$. — **PLANÈTES : Mercure,** plus grande élongation du matin le 1er, à 20°21′ Ouest du Soleil, se lève 1^h56^m avant le Soleil le 3 ; **Vénus,** étoile du matin, se lève le 3 à 6^h9^m, diamètre app. 10″,2, en conjonction le 7 avec β_1 *Scorpion* à 18^h, l'étoile à 0°15′ N. ; **Mars,** dans la *Vierge*, visible dans la seconde partie de la nuit, à 0°29′ au Sud de **Neptune** le 13, diamètre app. 4″,8 le 15 ; **Jupiter,** dans le *Taureau*, *en opposition avec le Soleil* le 13, diamètre polaire app. 44″,6, visible toute la nuit ; **Saturne,** dans la *Vierge*, astre du matin, se lève à 4^h5^m le 3, diamètre polaire app. 14″2,, anneau : gr. axe 36″0, petit axe 11″,1 ; **Uranus** dans les *Gémeaux* se lève à 17^h6^m le 27, position 7^h34^m et + 22°10′, diamètre app. 3″,9 ; **Neptune,** au Nord de l'*Épi de la Vierge*, observable dans la seconde partie de la nuit, position 13^h38^m et — 8°24′ le 27, diamètre app. 2″,4. — **ÉTOILES FILANTES :** *Géminides*, du 9 au 12, radiant α *Gémeaux*. — **ÉTOILES VARIABLES :** Minima observables d'*Algol* ($2^m,3$-$3^m,5$) le 2 à $15^h,3$, le 11 à $5^h,7$, le 14 à $2^h,6$, le 16 à $23^h,4$, le 19 à $20^h,2$ le 22 à 17^h ; minimum de β *Lyre* ($3^m,4$-$4^m,3$) le 26 à $10^h,3$; maximum de R *Cygne* ($5^m,6$-$14^m,4$) le 22. — **ÉTOILE POLAIRE :** passage sup. au méridien de Paris : le 7 à $20^h37^m42^s$, le 17 à $19^h58^m14^s$, le 27 à $19^h18^m45^s$.

Phénomènes remarquables. — Observer **Jupiter, en opposition avec le Soleil** ; rechercher **ses satellites** à l'aide d'une jumelle. — **Lumière cendrée de la Lune :** le matin du 2 au 4, et le soir du 8 au 10. — **Lueur antisolaire** vers minuit, au début du mois.

(Heures données en **Temps universel** ; tenir compte des modifications introduites par l'heure en usage).

G. Fournier.

LES LIVRES NOUVEAUX

Albert Heim, par M. Brockmann-Jerosch, A. et H. Heim. 1 vol. in-8°, 268 p., 11 fig., 15 pl. Wepf, Bâle, 1952. Prix : relié, 17,80 francs suisses.

Cette biographie, publiée à l'occasion du centenaire du grand géologue suisse, a été rédigée par ses enfants et une de ses élèves. Professeur à l'Université de Zurich à 24 ans, directeur de la section des Sciences naturelles et professeur au Polytechnicum pendant vingt ans, il fut un des fondateurs de la tectonique moderne et publia son magistral ouvrage, *Géologie de la Suisse*, en 1911, après sa retraite. On lui doit aussi des panoramas et des reliefs inégalés. L'ouvrage, agréablement rédigé, s'adresse aux spécialistes et au public cultivé désireux de connaître la longue vie d'un maître qui a formé plus de 2 000 élèves et dirigé 310 excursions dans les Alpes suisses, la dernière à l'âge de 80 ans.

Pétrographie des roches sédimentaires, par A. Carozzi. 1 vol. 16×24, 258 p., 27 fig. F. Rouge, Lausanne, 1953. Prix : 23,40 francs suisses.

Exposé systématique détaillé de la pétrographie des roches sédimentaires comportant l'étude de leur composition, de leur structure, de leur genèse et des problèmes relatifs à leur formation. Il traite aussi bien des roches utilisées comme matériaux de constructions que des grands produits industriels d'origine sédimentaire tels que les charbons, les phosphates, les diatomites, les minerais de fer oolithiques, etc. La pétrographie des roches sédimentaires, en dehors de son intérêt scientifique, joue maintenant un rôle économique important, notamment dans les recherches du pétrole.

Tableaux de Pétrographie, par M.-E. Denaeyer. 1 vol. 27×34. Éd. Lamarre, Paris, 1951.

Depuis les célèbres *Tableaux des minéraux et des roches* publiés en 1889 par Aug. Michel Lévy et Alf. Lacroix, rien de ce genre n'a paru en langue française. Les données utilisées quotidiennement par les pétrographes sont éparses dans des publications diverses. L'auteur les a rassemblées en une première partie : détermination des minéraux des roches et calculs pétrochimiques. La dénomination correcte des roches ayant une importance pratique considérable, la deuxième partie est consacrée à la classification des roches éruptives et métamorphiques. Ces grands tableaux clairs et maniables forment une solide plaquette reliée peu épaisse qui rendra les plus grands services.

La France. Géographie. Tourisme. Tome II. 1 vol. in-4°, 584 p., 858 fig., 12 pl. en couleurs, 31 cartes. Larousse, Paris, 1952. Prix : relié, 5 470 F.

Voici le tome second qui termine cette présentation de la France, bien documentée et écrite, admirablement illustrée, qui continue la réussite des ouvrages de luxe de la collection Larousse. Il est consacré aux pays du nord, de l'ouest, de l'est, au bassin parisien et à Paris. Sous la direction de M. Daniel Faucher, une pléiade de géographes en a écrit les divers chapitres, descriptifs, explicatifs, chacun suivi d'une étude des sites, des villes, des monuments les plus dignes d'attirer le tourisme. C'est un défilé de notions exactes, précises, qui ne s'égarent pas vers les théories causales de la géologie ou de l'histoire mais n'y prennent que les notions évidentes et nécessaires. Une illustration très abondante, splendide, parfaitement choisie encadre les textes, les anime ; elle évoque pour chacun les lieux déjà visités ; elle en révèle d'autres qui incitent à de nouveaux voyages ; elle les précise par de nombreuses cartes en noir et en couleurs et par des photographies, prises de terre ou d'avion, reproduites à la perfection. On est ravi de la diversité des régions, des beautés de notre pays ; on apprend la géographie en restant constamment sous le charme.

The Sky and its mysteries, par E. Agar Beet. 1 vol. in-16, 238 p., 56 fig., 14 pl. G. Bell, Londres, 1952. Prix : relié, 15 shillings.

Cet ouvrage d'astronomie générale est destiné au grand public. Il rappelle l'histoire des progrès des connaissances et expose les récentes techniques utilisées pour parvenir aux idées actuelles, puis il décrit le système solaire, sa galaxie et ce que nous savons de l'univers. L'auteur insiste sur les observations qui peuvent être faites à l'œil nu ou à l'aide d'une simple jumelle. Il s'attache aux faits acquis, puis, dans les derniers chapitres, souligne les problèmes non résolus. Il discute les hypothèses proposées notamment sur l'origine de l'énergie stellaire et la théorie de l'expansion de l'univers.

Principes physiques de la formulation des lois expérimentales. *Conséquences pour la philosophie des sciences. Calcul effectif de différents types de lois*, par Pierre Vernotte. 1 vol. 18×27, 256+xxxii p. Publications scientifiques et techniques du Ministère de l'Air, n° 271, 1952.

L'auteur expose l'essentiel de ses idées sur cette question à laquelle il a déjà consacré de nombreux mémoires. C'est, en fait, tout le problème de la valeur de l'induction qu'il remet sur la sellette, en insistant tout particulièrement sur le caractère subjectif de l'interprétation des courbes expérimentales, sur ce qu'il dénomme judicieusement « la moindre imprécision », et sur la nécessité d'appuyer les travaux du physicien et du technicien sur le plus grand nombre possible de mesures.

Reports on progress in Physics. 1 vol. 18×25, 407 p. The Physical Society, Londres, 1953. Prix : relié, 2 livres 10 shillings.

On trouve dans ce volume publié annuellement et d'une présentation parfaite, une série d'études de spécialistes sélectionnées par la Société de Physique de Londres : diffraction des neutrons, propriétés physiques et structure atomique des cristaux, effet Raman dans les solides, résonance paramagnétique, semiconducteurs, décharges électriques, théorie des fluctuations dans les mesures physiques, cosmologie, nouvelles particules instables des rayons cosmiques.

Quantum theory of matter, par J. C. Slater. 1 vol. 16×24, xiv-528 p. *International series in pure and applied physics.* McGraw-Hill, New-York et Londres, 1951. Prix : relié, 60 sh.

La théorie quantique est en pleine croissance et l'auteur assure que, tant que l'étudiant n'arrive pas à en suivre seul le développement, il n'a pas compris la vraie nature de la physique quantique. Pour l'y aider, d'une part l'exposé laisse transparaître la marche historique de la science, d'autre part on va droit des principes aux applications aux propriétés de la matière. L'ouvrage requiert une solide préparation mathématique et la connaissance des bases expérimentales de la structure atomique, mais non de la mécanique quantique. Avec *Mechanics, Electromagnetism* et *Introduction to Chemical Physics* du même auteur, cet ouvrage forme un tout cohérent qui fournit les bases de presque toute la physique théorique (à l'exception de la théorie nucléaire).

Atomes, Spectres, Matière, par Yvette Cauchois. Préface de Jean Cabannes. 1 vol. 14×18, 636 p. Albin Michel, Paris, 1952. Prix : 1 800 F.

Partant des expériences fondamentales qui démontrent l'existence des atomes, l'auteur nous entraîne sur la longue route sans cesse changeante qu'a parcourue la science pour aboutir à notre connaissance actuelle de la matière. On voit ainsi peu à peu s'élaborer les notions plus ou moins abstraites de la physique moderne sans jamais perdre de vue les bases expérimentales qui les justifient ou l'enchaînement des idées qui en découlent. Cet ouvrage de synthèse ne dispense pas l'étudiant de fréquenter les traités spéciaux mais lui permettra, comme au spécialiste, des rapprochements fructueux propres de plus à réjouir et stimuler sa pensée.

Nuclear stability rules, par N. Feather. 1 vol. in-8°, 162 p., 27 fig. Cambridge University Press, 1952.

Revue très complète de toutes les expériences de physique nucléaire qui permettent de se faire une idée des mécanismes assurant la plus ou moins grande stabilité des noyaux atomiques. Après un essai de définition empirique de la stabilité, le professeur Feather étudie les régularités dans la désintégration α et la règle de Geiger-Nuttall qui les gouverne, puis les régularités dans la désintégration β et le diagramme de Sargent. Un dernier chapitre est consacré à la fission spontanée.

La structure de la matière, par Ernest Stahel. 1 vol. in-8°, 176 p. Dunod, Paris, et Le Griffon, Neuchâtel, 1953. Prix : broché, 1 160 F.

Voici le tome IV du *Précis de Physique Générale* publié sous la direction de A. Mercier. Il traite de la théorie cinétique de la matière, de la physique atomique et de la physique nucléaire. Cette dernière a été plus particulièrement développée. En physique atomique, l'auteur a surtout insisté sur le développement des idées qui ont abouti à la mécanique ondulatoire, sans toutefois entrer dans le détail des calculs. Ouvrage essentiellement destiné aux étudiants des facultés et des grandes écoles, il dégage avec bonheur les idées générales, laissant volontairement de côté beaucoup de démonstrations mathématiques facilement trouvables ailleurs. Ouvrage agréable tant par son contenu que par son aspect typographique soigné.

Cours de Mécanique élémentaire, par Ph. Moulan et C. Gerday. 2 vol. 12×19. T. I, 296 p., 350 fig. T. II, 226 p., 248 fig. Béranger, Paris, 1953. Prix : 625 F et 450 F.

Le premier volume traite des notions générales, de la cinématique, de la statique, des résistances au mouvement et de la dynamique ; le second, des moments d'inertie, de la résistance des matériaux et de la graphostatique. Cet exposé très clair de la mécanique élémentaire sera bien accueilli des étudiants, en particulier de ceux des écoles industrielles auxquelles il est spécialement destiné.

Histoire abrégée des théories physiques concernant la matière et l'énergie, par Ch. Brunold. 1 vol. in-8°, 50 p. Masson, Paris, 1952. Prix : 430 F.

Le directeur général de l'enseignement du second degré a écrit ces quelques pages pour répondre aux exigences d'une partie du programme de philosophie des classes terminales de l'enseignement secondaire. Il a en réalité brossé l'esquisse de l'enseignement scientifique nécessaire à la formation philosophique. Suivant la tendance actuelle il expose les éléments de l'histoire de la science qui devient ainsi la méthode de la philosophie de la science.

Principles of Radar, par J. F. Reintjes et G. T. Coate. 3° édition. 1 vol. in-8°, xvi-985 p. McGraw-Hill, New-York et Londres, 1953. Prix : relié, 55 sh. 6 d.

Ce volumineux ouvrage abondamment pourvu de schémas entre dans le détail de toutes les questions concernant le Radar en remontant même chaque fois aux notions générales d'électricité nécessaires. A l'usage de futurs techniciens.

Le gérant : F. Dunod. — DUNOD, ÉDITEUR, PARIS. — DÉPÔT LÉGAL : 4° TRIMESTRE 1953, N° 2466. — IMPRIMÉ EN FRANCE.
BARNÉOUD FRÈRES ET Cie, IMPRIMEURS, (310566), LAVAL, N° 2839. — 11-1953.

Le gérant : F. DUNOD. — DUNOD, ÉDITEUR, PARIS. — DÉPÔT LÉGAL : 4e TRIMESTRE 1953, N° 2466. — IMPRIMÉ EN FRANCE.
BARNÉOUD FRÈRES ET Cie, IMPRIMEURS, (310566). LAVAL, N° 2839. — 11-1953.